



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

STUDIE REKONSTRUKCE ÚPRAVNY VODY

STUDY OF THE RECONSTRUCTION OF WATER TREATMENT PLANT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Skřiček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ KUČERA, Ph.D.

BRNO 2018

ZADÁNÍ VŠKP

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce bylo navrhnout rekonstrukci úpravní vody. Vybral jsem si úpravnu vody v Čebíně, které jsem se věnoval již v bakalářské práci. Úpravna má problémy se zvýšeným obsahem železa, manganu a amonných solí. V první části jsem se věnoval stávajícímu stavu úpravní vody a možnostem odstranění prvků z vody. V další kapitole jsem sestavoval vybavení technologické linky. K odstranění železa i manganu jsem navrhl provzdušnění pomocí injektoru a k odstranění amonných solí slouží manganistan draselný, který se dávkuje k regeneraci filtrů. Dvojice tlakových filtrů pomáhá odstranit železo a mangan. V poslední části diplomové práce jsem popisoval a hodnotil původní stav úpravní vody. K hodnocení technického stavu jsem využil webovou aplikaci TEA Water.

KLÍČOVÁ SLOVA

Úpravna vody, rekonstrukce, TEA Water, železo a mangan

ABSTRACT

The aim of the master thesis was to propose the reconstruction of the water treatment plant. I chose the water treatment plant in Čebín, which I have already describe with in the bachelor thesis. The water treatment plant has problems with increased iron, manganese and ammonium salts. In the first part I devoted myself to the current condition of the water treatment plant and the possibilities of removing the elements from the water. In the next chapter I compiled the equipment of the technological line. To remove iron and manganese, I suggested aeration using an injector, and for the removal of ammonium salts, potassium permanganate is used, which is used to regenerate the filters. A pair of pressure filters helps remove iron and manganese. In the last part of the thesis I described and evaluated the original condition of the water treatment plant. To evaluate the technical condition, I used the TEA Water web application.

KEYWORDS

Water treatment plant, reconstruction, TEA Water, iron and manganese

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

SKŘÍČEK, Jan. *Studie rekonstrukce úpravny vody*. Brno, 2017. 71 s., 9 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

Podpis autora
Jan Skříček

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu své diplomové práce Ing. Tomáši Kučerovi, Ph.D. za poskytnutou odbornou pomoc, konzultace a připomínky. Dále děkuji své rodině a přítelkyni, kteří měli se mnou trpělivost a pochopení. V neposlední řadě děkuji všem, kteří mi po celou dobu studia věřili a podporovali mě.

OBSAH

1. ÚVOD.....	9
2. ÚPRAVNA VODY ČEBÍN	10
2.1 Stávající stav úpravny vody Čebín	10
2.2 Technologický cyklus - 4 fáze.....	11
2.3 Složení stávající technologické linky	13
2.4 Identifikační údaje úpravny vody Čebín	16
2.4.1 Účel rekonstrukce	16
2.4.2 Jakost podzemní vody.....	17
2.4.3 Popis území stavby	18
2.4.4 Současný stav.....	19
2.5 Skupinový vodovod Tišnov	20
2.5.1 Provozované obce	21
2.6 Surová voda	24
2.6.1 Charakteristika podzemních vod.....	24
2.6.2 Odstranění železa a manganu.....	25
2.6.3 Alternativní způsoby odstranění Fe a Mn	26
2.6.4 Odstranění amoniakálního dusíku.....	28
2.6.5 Separační stupeň	30
2.6.6 Technologie úpravy vody	30
3. NÁVRH TECHNOLOGICKÉ LINKY	33
3.1 Zdroj vody	33
3.2 Provzdušňování – injektor	34
3.3 Dávkování chemikálií	35
3.4 Statický mísič.....	38
3.5 Tlakové filtry	38
3.6 Čerpání na filtry.....	40
3.7 Filtrační náplň.....	41
3.8 Praní filtrů - regenerace	44
3.9 Akumulace prací vody	44
3.10 Akumulace upravené vody	46
3.11 Tlakové ventily.....	46
3.12 Kompresor	47
3.13 Tlaková nádoba	48

3.14	Čerpání na vodojemy	49
4.	TEA WATER	50
4.1	Výsledky aplikace TEA Water.....	53
4.2	Modul TEAT	57
5.	ZÁVĚR	59
6.	POUŽITÁ LITERATURA.....	61
	SEZNAM TABULEK	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	67
	SEZNAM PŘÍLOH.....	65
	SUMMARY	70

1. ÚVOD

Voda je nepostradatelná nejen pro náš život, ale i pro existenci na Zemi, kde tvoří základní podmínky všeho. Lidské tělo je z více než poloviny tvořeno vodou a povrch Země je pokryt přibližně stejným procentem vody. Proces úpravy vody je nejdůležitější technologický postup ve vodárenství. V České republice existují dva druhy zdrojů vody-podzemní a povrchový. Zdroj podzemních vod je většinou méně znečištěný, a proto jednodušší a méně nákladný. Obyvatelstvo musí být zásobeno denně pitnou vodou. K zásobení kvalitní pitné vody slouží úpravní vody.

Úpravna vody Čebín leží v Jihomoravském kraji v okrese Brno-venkov kousek od obce Čebín. V diplomové práci je řešena rekonstrukce úpravny vody menšího výkonu. Součástí úpravny vody jsou vodojemy zásobující skupinový vodovod Tišnov. Celkem je zásobeno přibližně 13300 obyvatel, včetně mě.

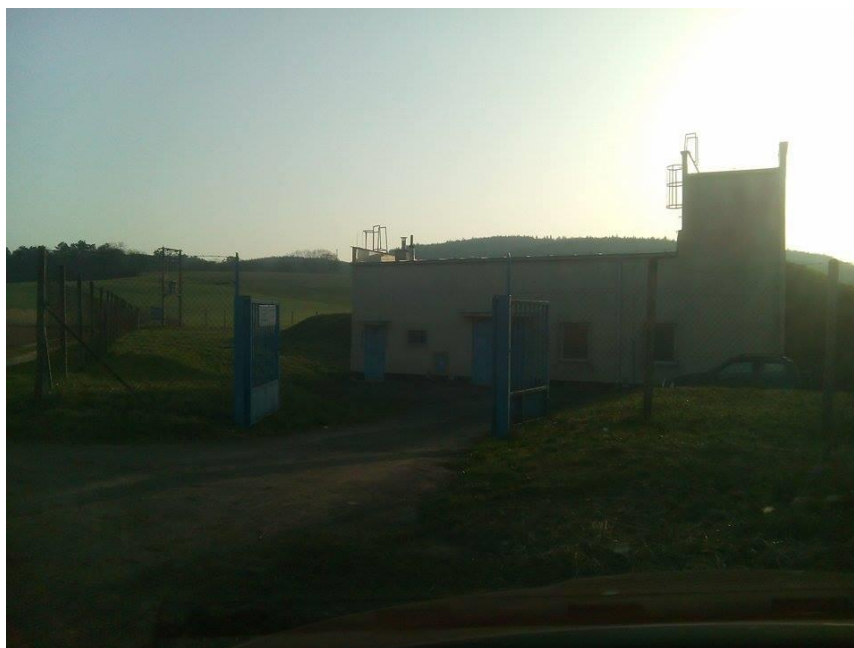
Odebíraná voda je čerpána z vrtu, který je 35 m hluboký a je využíván přes 35 let. V roce 1986 proběhla rekonstrukce úpravny vody naposled. Technologická linka je na hranici své životnosti. Nynější rekonstrukce je z důvodu zlepšení kvality podzemní vody a jejího množství dodávané do vodovodního řadu Tišnov. Na úpravně vody Čebín je problémem výskyt nadlimitního množství železa, manganu a amonných solí.

K zhodnocení technického stavu bude využita webová aplikace TEA Water metoda, která slouží pro určení technického stavu vodárenského systému.

2. ÚPRAVNA VODY ČEBÍN

2.1 STÁVAJÍCÍ STAV ÚPRAVNY VODY ČEBÍN

Úpravna vody Čebín leží v Jihomoravském kraji v okrese Brno-venkov kousek od obce Čebín. Vzhledem k tomu, že voda z vrtů obsahuje nadlimitní množství železa a manganu, je voda upravována metodou IN SITU. To znamená, že odebraná voda z vrtu je na úpravně provzdušňována a část je vracena zpět do jiného vrtu. Tento systém čerpání a vracení vody se pravidelně střídá. Takto upravovaná voda je dezinfikována pomocí chlornanu sodného a poté čerpána zpět do vodojemu. Na procesu se podílejí jak čisté chemické reakce, tak reakce biochemické železitými a manganovými bakteriemi. [1, 7]



Obr. 1 - Úpravna vody Čebín-z venku [12]

Vzhledem k tomu, že podzemní voda již dříve sloužila k zásobování obyvatelstva pitnou vodou, bylo nutné úpravnu v roce 1986 zrekonstruovat. A to z důvodu zamezení nežádoucích průniků sraženin vyšších oxidů železa vznikajících po chloraci do spotřebišť. Následkem toho byl přijat návrh na řešení úpravárenské technologie variantou úpravy v horninovém prostředí.

Technologie odželezování a odmanganování v horninovém prostředí je založena na změně fyzikálně-chemických parametrů zvodně. V závislosti na řadě dalších podmínek přecházejí rozpustné formy železa a manganu do málo rozpustné formy jako $\text{Fe}(\text{OH})_3$, MnO_4 nebo Mn_3O_4 .

K navození výše uvedených podmínek se využívá vsakování kyslíkem obohacené vody, jejíž oxidačně-redukční potenciál při rovnováze s kyslíkem je 300-400 mV. Tímto způsobem je v okolí jímacího vrtu vytvářena aktivovaná zóna tzv. horninový reaktor. [12]

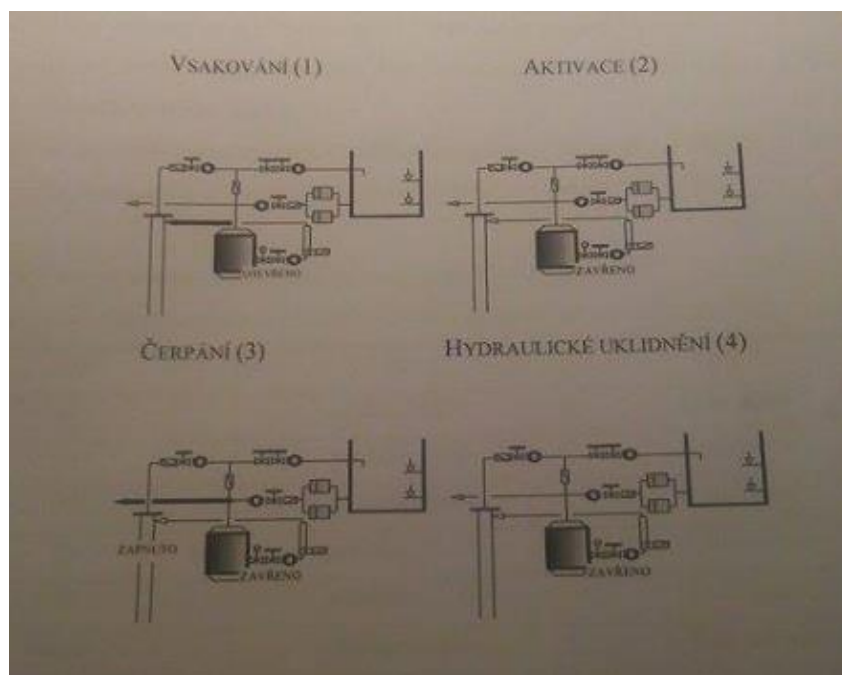
2.2 TECHNOLOGICKÝ CYKLUS - 4 FÁZE

Fáze vsakování slouží ke transportu příslušného objemu kyslíkem vody do horninového prostředí. Množství vsakované vody, a tedy i kyslíku je závislé tedy na potenciálu zvodně, na koncentraci železa a manganu. Fáze vsakování je z technologického hlediska neproduktivní, a proto je snaha vsakování maximálně zkrátit.

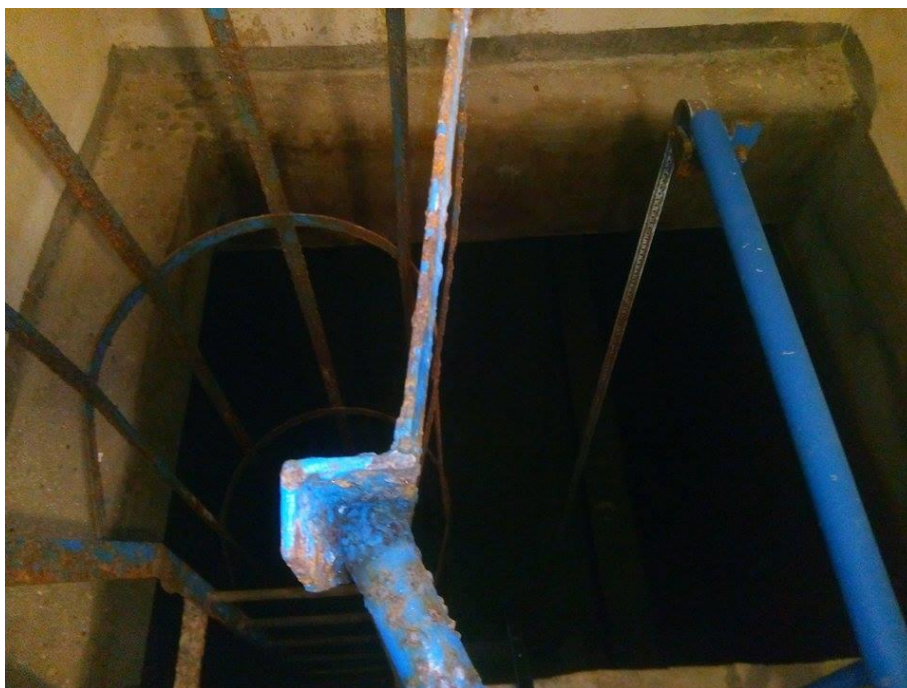
Během aktivací fáze je kyslík vázán na horninové prostředí a v závislosti na petrografickém a mineralogickém složení se tak sorbuje až 98 % veškerého rozpuštěného kyslíku. Pokud vsakovaná voda obsahovala nadlimitní koncentrace železa nebo manganu, slouží rovněž aktivace k eliminaci těchto složek. Obvyklá délka aktivace nepřesahuje 3 hodiny.

Fáze čerpání, někdy také adsorpční fáze, záleží na povaze chemických procesů, které zde probíhají. Doba trvání adsorpční fáze je ovlivněna mineralogickým a zrnitostním složením a chemickým složením surové vody. K posouzení výsledné účinnosti se využívá tzv. koeficient výtěžnosti y_c . Tento koeficient představuje podíl mezi vyčerpaným objemem a vsáknutým objemem. Optimální úroveň dosáhne y_c až po více než 5 pracovních cyklů.

Fáze hydraulického uklidnění předchází fázi vsakování následujícího cyklu. Délka trvání fáze je ovlivněna dobou, za kterou hladina podzemní vody nastupuje do úrovně původní. Vylučují se tím některé nežádoucí projevy hydraulického rázování ve vrtech jako pískování. [1, 12]

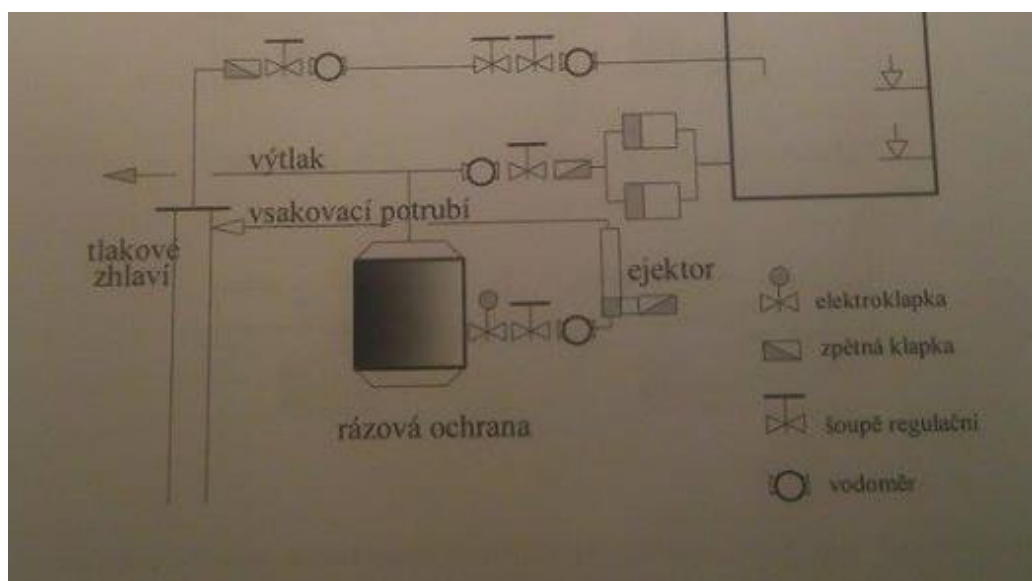


Obr. 2 - Úpravna vody Čebín-technologický cyklus [1]



Obr. 3 - Úpravna vody Čebín-vstup do akumulční nádrže [12]

Technologický cyklus je navržen na dobu 84 hodin (3,5 dne). První částí je vsakování vody do vodojemu. Čerpadlo ve vrtu je vypnuto. Po otevření elektroklopy je voda provzdušňována na ejektoru a pak je zasakována do vrtu po dobu 24 hodin. Poté se klapka uzavírá a následuje hodinová aktivace. Po ukončení aktivace je zahájeno čerpání z vrtu do akumulční nádrže o objemu 250 m^3 a odtud čerpadlem do vodojemu. Po uplynutí doby čerpání navazuje fáze hydraulického uklidnění o délce 1 hodiny. Tím je technologický cyklus ukončen a následuje další. [1, 12]



Obr. 4 - Úpravna vody Čebín–staré technologické schéma [1]

2.3 SLOŽENÍ STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÉ LINKY

Stávající technologická linka se skládá z těchto složek:

Akumulační vrt

- čerpadlo

Strojovna s provozními místnostmi

- čerpadlo pro čerpání do vodojemu
- AT stanice
- měření průtoku

Chemické hospodářství

- chlorovna s čerpadlem pro dávkování chlóru

Akumulační nádrž

- 250 m³

Vodojemy

- vodojem VDJ1 – 650 m³
- vodojem VDJ2 – 150 m³

Systémy elektro VN a NN

- přípojka VN
- trafostanice
- rozvodna
- motorové rozvody NN

Systémy měření kontroly a sběru dat

- monitorovací a řídicí systém

Ostatní objekty ÚV

- provozní místnost
- armaturní komora
- kanalizace a komunikace v ÚV (vnitřní)
- objektová kanalizace s výustním objektem
- rozvod pitné vody

- sociální zařízení
- venkovní osvětlení
- oplocení



Obr. 5 - Úpravna vody Čebín-tlaková nádrž [12]



Obr. 6 - Úpravna vody Čebín-čerpadla, žebřík do akumulční nádrže [12]

Plná akumulace vodojemů Čebín se pohybuje v rozmezí 750-780 m³ a potřeba vody do systému tišnovského vodovodu jsou 4,6 l/s. Hygienická úprava vody je v nynější době zajišťována dávkováním tekutého chloru, který je dávkován přímo do nátokového potrubí. Místnost pro zásobování chlóru najdeme v provozní budově. Odželezování a odmanganování oxidací chlorem se řadí do chemického způsobu oxidace. Tato oxidace probíhá rychle a už při pH nad 5 je účinná. [1]



Obr. 7 - Úpravna vody Čebín-ejektor [12]

2.4 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE ÚPRAVNY VODY ČEBÍN

Součástí úpravny vody jsou dva vodojemy VDJ1 o objemu 650 m³ a VDJ2 o objemu 150 m³. Celkový výškový rozdíl mezi úpravnou vody a vodojemem je 86 m. Vodojemy jsou mezi sebou propojené a ve vodojemech jsou v obou hladiny na stejné úrovni. Vodojemy zásobují skupinový vodovod Tišnov a doplňují soustavu vodojemů Tišnov Květnice, Tišnov Čimperek, Tišnov Klucanina, Předklášteří Čepička, Šerkovice, Železné, Jamné a Heroltice Dřínová. Současné vodojemy jsou podzemní s nadzemním armaturním objektem. Akumulační objekty jsou složeny z prefabrikovaných desek, které jsou uchyceny do železobetonového zámku a zality betonem. Armaturní objekt je taktéž železobetonová konstrukce, kde jsou armatury a vodoměry. Přípojka NN je napájena z rozvaděče v areálu úpravny vody a je uložena v souběhu s výtlačkem vody do vodojemů. Tato přípojka je zdrojem pro ventilátor a osvětlení. Armaturní objekt není vytápěn, ani speciálně odvětráván.

Objekt je umístěn v extravilánu mezi obcemi Čebín, Chudčice a Moravské Knínice. V blízkosti úpravny vody vede státní komunikace II. třídy č. 386. Obsluhu zabezpečuje zpevněná polní cesta, tvořená převážně štěrkem, která je v nevyhovujícím stavu. Z úpravny vody je veden bezpečnostní přepad, který vede do bezejmenného vodoteče, vtékající do recipientu Kuřimka. Tento tok je ve správě Povodí Moravy, přímou správu toku vykonává závod Dyje, provoz Brno.

Výtlačné ocelové potrubí je z roku 1990 a je ve špatném technickém stavu. Potrubí je uloženo v poli v souběhu s přípojkou nízkého napětí a sdělovacím kabelem k vodojemu. Vzdálenost mezi úpravnou vody a vodojemem je 1250 m.

Terén na úpravně vody je v rozpětí 248,0 – 253,0 m n. m. Stávající úroveň břehu v místě výustě je na kótě 248,46 m n. m. Úpravna vody není ovlivněna hladinou při průběhu n-letých průtocích $Q_{100} = 247,4$ l/s. Při průtocích Q_{100} nedochází k ovlivnění areálu povodňovou hladinou.

2.4.1 Účel rekonstrukce

Účelem stavby je zlepšení kvality zdroje pitné vody a množství podzemní vody dodávané do vodovodního řadu Tišnovsko. Tento řad zásobuje obce: Tišnov, Šerkovice, Lomnička, Předklášteří, Hradčany, Čebín, Sentice, Heroltice, Jamné a Březina u Tišnova. Celkově se jedná o zásobení asi 13300 obyvatel. Úpravna vody Čebín zásobuje přibližně 26 % na zásobování Sentice, Hradčany, Čebín a část Tišnova.

2.4.2 Jakost podzemní vody

Výsledky z měření při teplotě 9,8 °C z vrtu jakosti podzemní vody jsou následující:

<i>Ukazatel</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Průměr</i>	<i>vyhláška</i>
BSK-5	mg/l	<0,5	7,3	3,2	
CHSK		4,2	12,0	8,1	max 10
NH ₄ ⁺		0,1	2,0	0,73	max 0,50
(NO ₃) ⁻		2,3	5,6	3,6	max 50
P		0,2	1,0	0,4	max 3,5
CO ₂		-	-	52,8	-
O ₂		-	-	0,25	-
Fe		-	-	0,85	max 0,20
Mn		-	-	0,12	max 0,05
pH	-	-	-	7,1	max 6,5 – 9,5

Tab. 1 – Jakost podzemní vody [1]

Tabulka jakosti podzemní vody uvádí vybrané ukazatele:

BSK...	biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní
CHSK...	chemická spotřeba kyslíku
NH ₄ ⁺ ...	amonný kation
(NO ₃) ⁻ ...	dusičnanový anion
P...	celkový fosfor
CO ₂ ...	volný oxid uhličitý
O ₂ ...	rozpuštěný kyslík
Fe...	železo
Mn...	mangan
pH...	potenciál vodíku

Podle vyhlášky č. 252/2004 Sb., která stanovuje hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Na základě hygienických požadavků je nutné snížit hodnoty vody u železa, manganu a amonného kationu.

Nejbližší měřicí stanice jakosti vody vodního toku Kuřimka z úpravny vody je pod obcí Chudčice.

Na úpravně vody se využívá jen pitná voda z jímacího vrtu pro ZTI. Dešťová voda vzniká na zpevněných plochách a střechách objektu a je zasakována do okolních zelených ploch. [1]

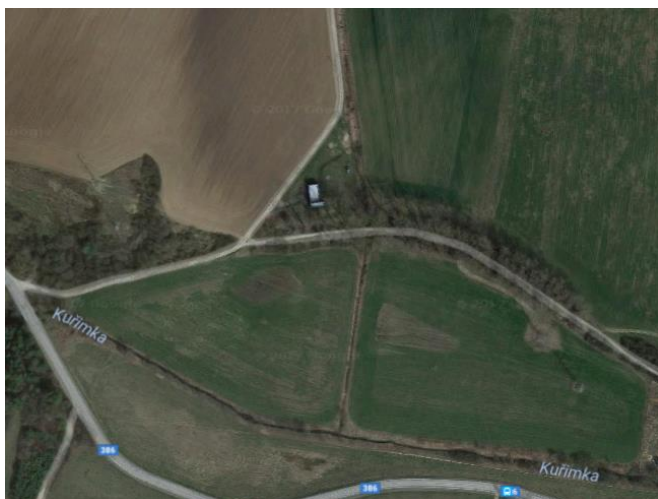
2.4.3 Popis území stavby

Úpravna vody v Podhájí leží v katastru obce Čebín, okres Brno venkov, kraj Jihomoravský. Obec Čebín je napojen na skupinový vodovod Tišnov, do které patří i jímací území v Podhájí.

V minulých letech obyvatelé z Čebína byli zásobováni z místních zdrojů. Vlastní vodovod měl Čebín od roku 1967, který byl napojený na zdroj v obci. Tato voda ovšem nebyla dostatečně kvalitní, a proto se začalo uvažovat nad novým zdrojem. Od roku 1982 se využívá hydrogeologický vrt HV-2 z jímacího území Podhájí. Tato voda byla dopravována z vrtu do vodojemu Čebín o kapacitě 150 m³, s povoleným odběrem 6,5 l/s. [1]

V letech 1985-1986 byly provedeny hydrogeologické průzkumy v lokalitě Čebín – Podhájí. Díky tomu vznikl nový 35 m hluboký hydrogeologický vrt HV-101, který byl schopen odebírat více podzemní vody, než bylo doposud povoleno. Díky tomuto průzkumu bylo rozhodnuto o posílení vodních zdrojů z Podhájí. Propojil se skupinový vodovod Tišnov a jímací území Podhájí bylo rozšířeno o vrt HV-101 s povoleným odběrem $Q_{\max} = 5,5$ l/s. Tímto vzniklo napojení některých sousedních obcí na skupinový vodovod a byla posílena zásobovací síť Čebína. V roce 1996 bylo schváleno o posílení vodárenské soustavy Tišnov o nový vrt HV-101, tedy obec, kde bydlím již přes 25 let. Kvůli zvýšenému obsahu železa ve vodě z jímacích zdrojů v Čebíně, byla v roce 1999 odsouhlasena metoda eliminace železa, tzv. metoda IN SITU. Touto novinkou se každý den zvýšil výkon na 400 m³ upravené vody za den. Průměrné roční odebírané množství podzemní vody za období 2009–2013 se pohybovalo v rozpětí 3,8 až 4,1 l/s. [1]

Z terénu (nejvydatnějšího místa podzemní vody) vychází umístění budovy úpravny vody a jímacího vrtu. Do dvou vodojemů v blízkosti je čerpána upravená voda. Průměrná nadmořská výška areálu je 248 m n. m. [1]



Obr. 8 – Situace úpravny vody Čebín-Podhájí [2]



Obr. 9 - Situace (detail) úpravny vody Čebín-Podhájí [3]

Areál úpravny vody v dnešní době je oplocen a vybaven technologickými objekty. Prostor úpravny vody je zásobován elektrickou energií pomocí přípojky nízkého napětí a trafostanicí. [1]

2.4.4 Současný stav

Na úpravně vody Čebín-Podhájí se upravuje voda z jímacího vrtu HV-101, který je dlouhodobě značně opotřebován. Jímání podzemní vody trvá již téměř 20 let, navíc tato jímaná voda obsahuje zvýšené množství železa. Tyto zvýšené hodnoty mohou vést ke kolmataci, které zpravidla způsobují zatěžování zdroje a zhoršení technického stavu. Kvůli vyššímu obsahu železa se využívá metoda IN SITU, která snižuje tento obsah na vyhovující hodnoty podle. Toto kritérium upravuje vyhláška č. 252/2004 Sb., MZdr ČR na pitnou vodu.

Odstranění železa a manganu se provádělo dvakrát do týdne (ve čtvrtek a v neděli). Z nedávného rozboru podzemní vody v Čebíně vyšly tyto hodnoty: koncentrace železa 0,85 mg/l (limit 0,20 mg/l) a mangan koncentrace 0,12 mg/l (limit 0,05 mg/l). Obě tyto hodnoty jsou nadlimitní a nesplňují vyhlášku č. 252/2004 Sb. [1, 7]

Období	Roční produkce pro Čebín m ³ /rok	Roční produkce pro Heroltice m ³ /rok	Průměrný průtok l/s
2011	96 991	220 853	10,1
2012	111 290	189 343	9,5
2013	100 768	216 035	10,1
2014	100 604	148 760	7,9

Tab. 2 - Produkce pitné vody [1, 7]

Před uvažovanou rekonstrukcí je množství upravované vody $Q_{\text{prům}} = 4,6 \text{ l/s}$ ($16,6 \text{ m}^3/\text{h}$) a $Q_{\text{max}} = 5,5 \text{ l/s}$ ($20,2 \text{ m}^3/\text{h}$).

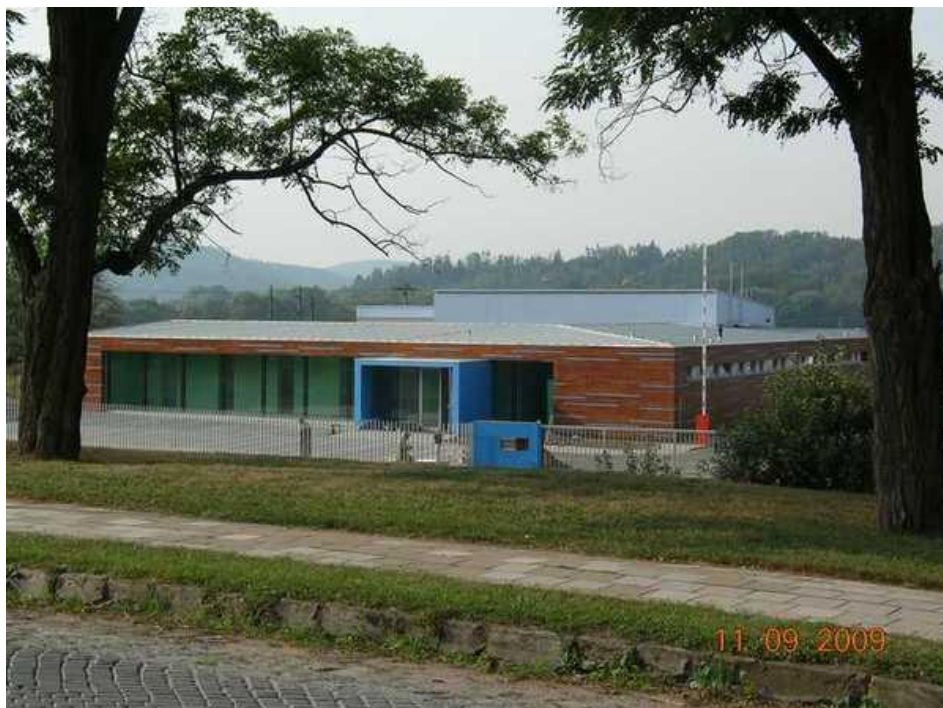
2.5 SKUPINOVÝ VODOVOD TIŠNOV

Vodárenský systém Tišnov zásobuje 10 obcí (Tab. 3 – Přehled napojených obcí na vodovod Tišnov). Skupinový vodovod dodává vodu asi 13300 obyvatelům. Úprava vody Čebín zásobuje přibližně 26 % na zásobování Sentice, Hradčany, Čebín a část Tišnova. [7]

Obec	Počet zásobených obyvatel
Čebín	1574
Březina	233
Heroltice	156
Hradčany	459
Lomnička	372
Předklášteří	1328
Sentice	463
Šerkovice	192
Tišnov	8270
Železné	280

Tab. 3 - Přehled napojených obcí na vodovod Tišnov [7]

Vodovod Tišnov patří do Svazku vodovodů a kanalizací Tišnovsko. Tento svazek byl založen roku 1993 za účelem provozování a údržby vodovodů a kanalizací. Skupinový vodovod Tišnov spadá do struktury VODÁRENSKÉ AKCIOVÉ SPOLEČNOSTI, a.s., divize Brno-venkov. Provozní středisko se nachází v Tišnově. [8]



Obr. 10 – Provozní středisko–SVAK Tišnovsko [8]

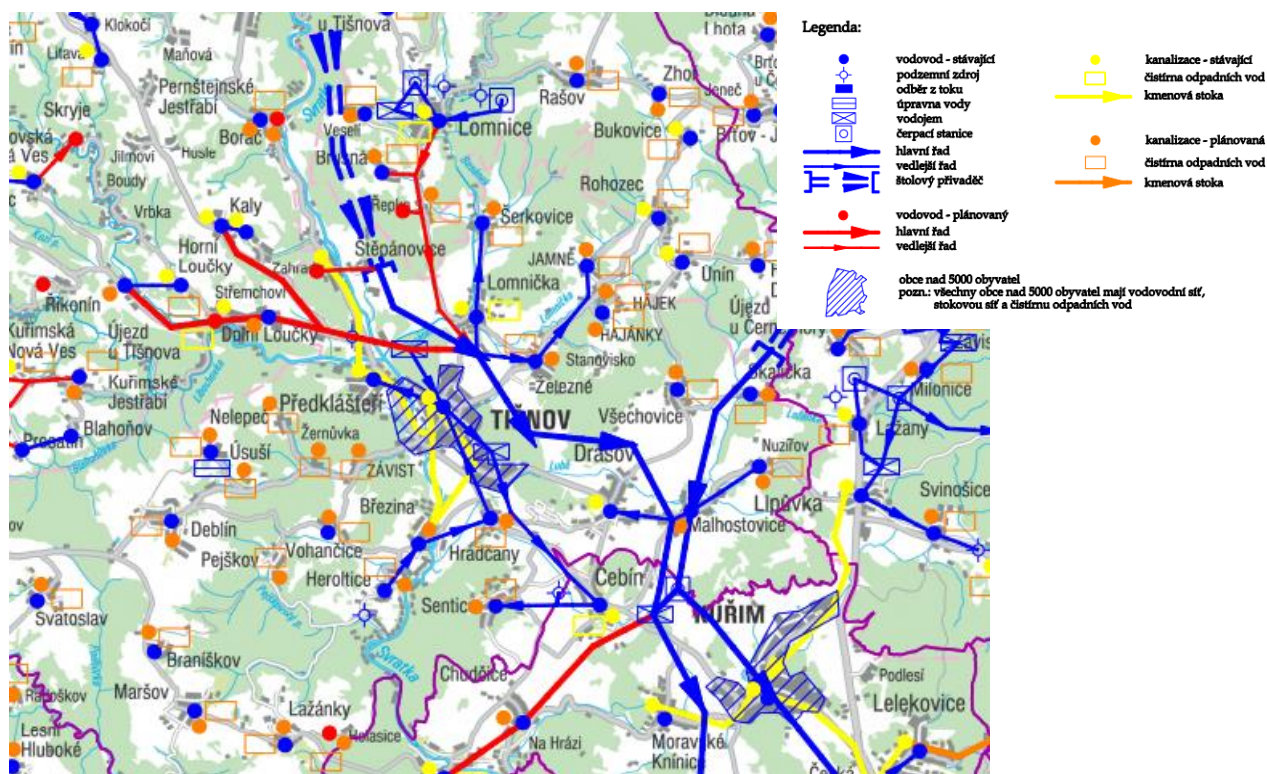
2.5.2 Provozované obce

Provozní středisko Tišnov zajišťuje provoz v těchto obcích:

- Běleč-Běleč u Lomnice
- Běleč-Křepetov
- Braniškov
- Březina
- Čebín Drásov
- Heroltice
- Hradčany
- Jinačovice
- Kaly
- Kaly-Zahrada
- Lažánky
- Lažánky-Holasice
- Lomnice
- Lomnice-Brusná
- Lomnice-Veselí
- Lomnička

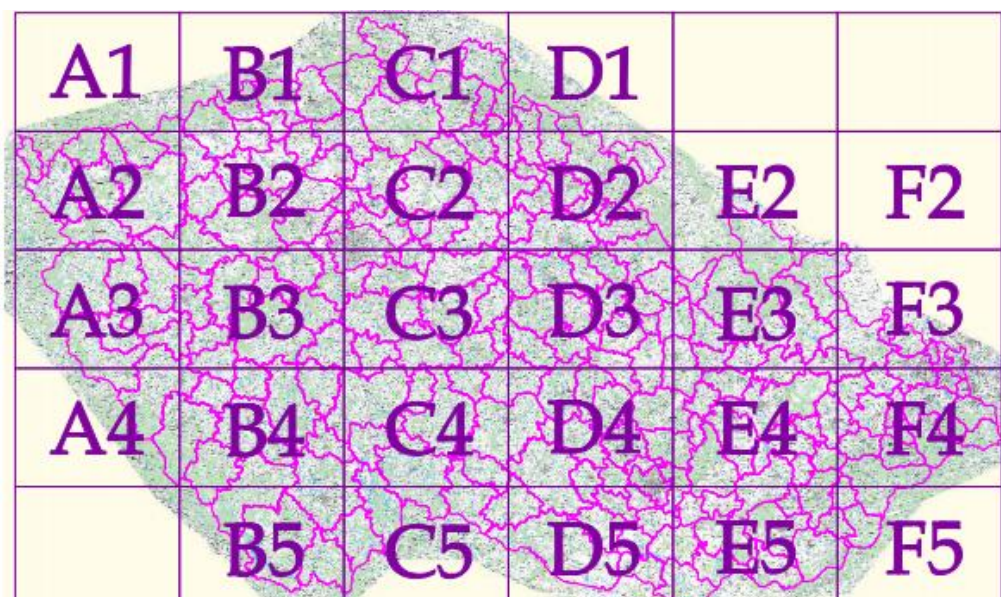
- Malhostovice
- Malhostovice-Nuzířov
- Maršov
- Moravské Knínice
- Předklášteří
- Rozdrojovice
- Sentice
- Šerkovice
- Tišnov
- Tišnov-Hajánky
- Tišnov-Hájek
- Tišnov-Jamné
- Újezd u Tišnova
- Železné [9]

Skupinový vodovod Tišnov nesplňoval požadovanou kvalitu, a proto byl v roce 2009 přepojen na Vodárenskou soustavu Březová II., Březová I a Vířský oblastní vodovod. [10]



Obr. 11 – Přehledný klad listů [9]

Oblast Čebín se řadí v přehledné mapě vodovodů a kanalizací pro veřejnou potřebu ČR do kladu listů D4 (viz foto – Přehledný klad listů). [9]



Obr. 12 – Přehledná mapa vodovodů a kanalizací-Tišnovsko [11]

Celková (součtová) vydatnost tišnovského skupinového vodovodu je 41,5 l/s. Město Tišnov má vodovod pro veřejnou potřebu, který je majetkem Svazku VaK Tišnovsko a provozován společností VAS a.s. divize Brno – venkov, provozní středisko Tišnov. [7]

2.6 SUROVÁ VODA

2.6.1 Charakteristika podzemních vod

Ze surové vody se získává voda pitná. Podle kvalitativních ukazatelů se zdroje vod rozdělují do tří kategorií A1, A2 a A3. Zdrojem surových vod bývají podzemní nebo povrchové vody. V současnosti je přes 60 % pitné vody vyráběno úpravou z povrchové vody. Většina povrchových vod je postižena eutrofizací neboli jsou obohaceny o živiny (dusík, fosfor). Z některých podpovrchových zdrojů lze pitnou vodu získat bez úpravy. Je nutné každý zdroj vody před využíváním nejdříve prozkoumat pomocí laboratorních rozborů a zkoušek (stanovení kvality a upravitelnosti vody). Surová voda se odvádí do úpraven vod, kde probíhají procesy. Mezi tyto procesy patří mechanické předčištění, chemické čření, filtrace, odstranění iontů (železa, manganu, dusičnanů, dusitanů) a dezinfekce. Následně voda pokračuje z úpravy vod do vodojemů a z nich vodovodním potrubím ke spotřebitelům. Z technologického hlediska lze používané procesy rozdělit do tří skupin: [13, 16]

- předúprava
 - mechanické předčištění:
 - česle
 - síta
 - mikrosíta
 - lapáky písku
 - odkyselování, oxidace
 - provzdušňovací zařízení
 - koagulace
 - koagulant
 - homogenizace (clony, žlaby)
 - vločkování (vločkovací nádrže)
- úprava (separace)
 - jednostupňová separace
 - filtrace
 - dvoustupňová separace
 - sedimentace, filtrace
 - třístupňová a vícestupňová separace
 - sedimentace, filtrace, membránová filtrace / adsorpce
- doúprava
 - dezinfekce
 - zušlechťování
 - ztvrzování

U mechanického předčištění se nejčastěji využívají česle (ručně nebo strojně stírané) a odstraňují se nečistoty větších rozměrů.

2.6.2 Odstranění železa a manganu

Oxidace se využívá převážně k odstranění železa a manganu z podzemní vody. Oxidací se snižuje požadovaná koncentrace prvků a dochází ke zlepšení organoleptických vlastností vody. Existují různé oxidační procesy:

- **oxidace kyslíkem O_2**

- do vody se dostává vzdušný kyslík (aerací nebo provzdušňováním)
- jedná se o nejčastější opatření předúpravy vody
- dochází k:
 - odkyselení vody (odstranění CO_2)
 - odpachování vody (odstranění plynů – H_2S , CH_4)
 - oxidace vody (obohacení vody o kyslík a oxidace Fe, Mn)
- oxidace vzdušným kyslíkem se používá často pro odstranění železa a manganu jako nejjednodušší metoda
- při provzdušňování dochází k okysličení síranů železa a manganu, současně se uvolňuje oxid uhličitý (metan nebo sulfan) [16, 17]
- pro oxidaci 1 mg Fe^{2+} je teoretická spotřeba kyslíku 0,143 mg, pro oxidaci Mn^{2+} je teoretická spotřeba kyslíku 0,291 mg [18]

- **oxidace ozonem O_3**

- nejsilnějším oxidačním činidlem je ozon, dávky musí být přiměřené, aby došlo k oxidaci Mn^{2+} na MnO_2 (je-li ozonu více, voda zřalová a vznikne MnO_4^-)
- rychlost oxidace závisí na době kontaktu odželezované vody s ozonem
- využívá se u vod, kde je železo vázáno v organoleptických komplexech (s huminovými látkami) [16, 17]
- k oxidaci 1 mg Fe^{2+} je zapotřebí 0,43 mg ozonu, k oxidaci 1 mg Mn^{2+} je potřeba teoretické dávky 0,87 mg ozonu [18]

- **oxidace chlórem Cl_2**

- ke smísení vody s oxidačními činidly dochází v absorbérch a kontaktních zařízeních
- při existenci manganatých solí se využívá kombinace chlorování s dávkováním $KMnO_4$ [16, 17]
- pomocí čerpadla je plyný chlór vstřikován do potrubí, k oxidaci 1 mg železa je zapotřebí 0,647 mg chlóru [18]

- **oxidace manganistanem draselným KMnO_4**

- dávka oxidace musí být přesná, záleží na pH, obsahu organických látek ve vodě a celkovém složení
- oxidace manganistanem draselným se odehrává i v neutrálním prostředí pH a probíhá velmi rychle [16, 17]
- teoretická spotřeba manganistanu draselného na 1 mg Fe^{2+} je 0,94 mg a spotřeba činidla na 1 mg Mn^{2+} je 1,92 mg [18]

Složka	Oxidační činidlo					
	O_2	O_3	Cl_2	ClO_2	KMnO_4	H_2O_2
Fe^{2+}	0,14	0,43	0,64	1,21	0,94	0,30
Mn^{2+}	0,29	0,87	1,29	2,46	1,92	-

Tab. 4 – Specifická spotřeba oxidačních činidel v mg [16]

Od specifické spotřeby oxidačních činidel se odvozuje dávka (kolik g činidla je třeba na oxidaci 1 g oxidované látky). Teoretické dávky se liší podle oxidačních činidel – viz Tab. 4 – Specifická spotřeba oxidačních činidel v mg.

2.6.3 Alternativní způsoby odstranění Fe a Mn

- **odstranění biologickým způsobem**

- činností bakterií dochází v přírodě k biochemické oxidaci
- metabolismus bakterií je založen na oxidaci železa a manganu
- ve vodách se nesmí vyskytovat toxické látky (Cl_2 , NH_3 a H_2S)
- k odželezování a odmanganování biologickým způsobem se doporučuje dvoustupňová separace, kdy v tlakovém filtru se odstraní železo a ve druhém stupni (otevřený filtr) se oddělí mangan
- nevýhodou je dlouhá doba zapracování filtrů [19]

- **iontoměniče**

- u iontoměničů dochází k výměně iontů pomocí organických a anorganických látek
- existují 2 druhy iontů:
 - katexy – záporný náboj, přitahují kationty
 - anexy – kladný náboj, přitahují anionty
- výměna iontů je činnost, kdy voda protéká přes zásobník, který je naplněný iontoměničovou pryskyřicí
- iontoměnič odebírá z vody nežádoucí ionty a do vody nazpátek vrátí neškodné ionty

- záleží, které ionty mají být z vody odstraněny, rozlišují se proto mezi různé činnosti:

- *změkčování* – výměna iontů vápníku a hořčíku za ionty sodíku
- *dekarbonizace* – změna iontů vápníku a hořčíku na ionty hydrogenuhličitanu a ionty vodíku
- *demineralizace* – všechny anionty a kationy zaměněny za ionty vodíku a hydroxylové ionty [16, 20]

- **metoda in situ**

- probíhá v horninovém prostředí
- odebíraná voda z vrtu je na úpravně provzdušňována a část je vracena zpět do jiného vrtu, tento systém čerpání a vracení vody se pravidelně střídá
- popsáno podrobněji ve 2. kapitole – Úpravna vody Čebín

- **membránové procesy**

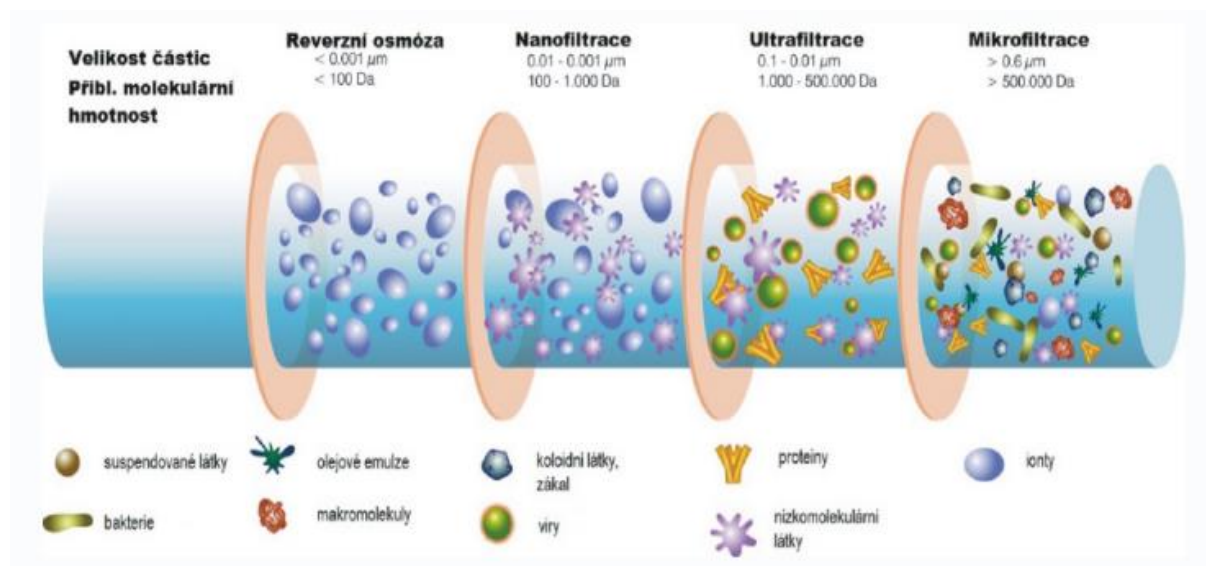
- membrána je propustná pro rozpouštědlo, ale nikoliv pro rozpuštěné látky
- hnací silou celého procesu je většinou tlak (reverzní osmóza, nanofiltrace), může být i rozdíl koncentrací (dialýza), tlak par (pervaporace, membránová destilace) nebo elektrický potenciál
- podle velikosti pórů membrán se procesy rozdělují – viz Tab. 5 – Membránové procesy–rozdělení
- využití: odsolení mořské vody, mobilní úpravny vod, odstranění těžkých kovů a nebezpečných látek z vody
- výhody: menší spotřeba chemikálií, minimální nárok na obsluhu, nižší nároky na zastavěnou plochu [21]

Metoda	Velikost pórů	Zadržuje	Nahrazuje technologii
Ultrafiltrace	3 – 50 nm	makromolekuly, organické látky (viry, bakterie), koloidní látky	Písková filtrace, koagulace, sedimentace
Nanofiltrace	1 – 3 nm	vícemocné ionty, rozpuštěné organické látky (pesticidy, vedlejší produkty dezinfekce)	Standardní metody změkčení vody (ionexy, vápno-soda)
Reverzní osmóza	0,1 – 1 nm	jednomocné ionty, veškeré rozpuštěné látky	Destilace

Tab. 5 – Membránové procesy–rozdělení [21]

Membránové systémy umožňují fyzikální dezinfekci vody na základě filtrace organismů. Velikost pórů a jejich rozložení na povrchu membrány je významným faktorem pro účinnost odstranění mikroorganismů. Hlavním úkolem je zadržení makromolekul, kdy

velikost pórů membrány je charakterizována pomocí údaje MWCO (Molecular Weight Cut-Off neboli odstranění molekulové hmotnosti). Jednotkou MWCO je Dalton (Da; g/mol). Tento parametr vyjadřuje molární hmotnost nejmenší složky, která je alespoň z 90 % zadržena. Viry se zadržují v rozmezí 0,1-0,01 μm , které mají většinou velikost 10–100 nm. Na membráně se zadrží bakterie s průměrnou velikostí 1-10 μm . Mikrofiltrace zachytí malé bakterie, ale viry propouští. Klasifikace procesů se z hlediska velikosti pórů často liší podle individuálních výrobců. [21]

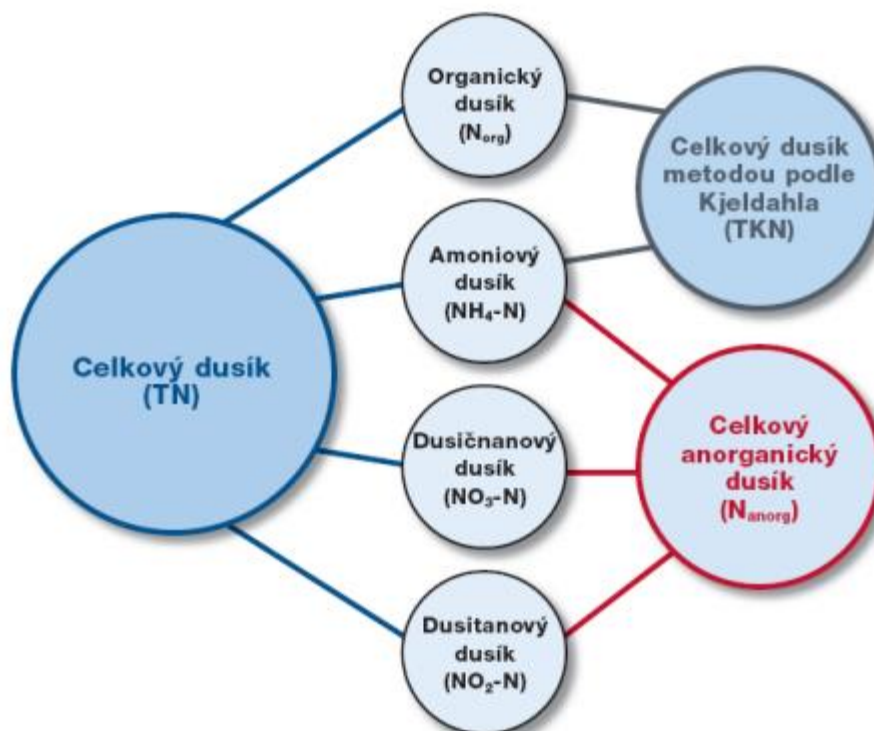


Obr. 13 – Rozdělení membránových procesů podle stupně separace [21]

2.6.4 Odstranění amoniakálního dusíku

Dusík se ve vodním hospodářství nachází hlavně ve formě NH_4^+ , NO_2^- a NO_3^- . Ve vodě se amoniakální dusík vyskytuje v hydratovaném stavu $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ nebo ve formě kationtu NH_4^+ , jejich poměrné zastoupení závisí na pH vody. Při pH menší než 8 se dusík nachází ve formě NH_4^+ . Amoniakální dusík vzniká rozkladem organických látek a patří mezi zvláštní ukazatele chemického složení vod. Pitná voda může obsahovat maximálně 0,5 mg/l NH_4^+ a 0,01 mg/l NH_3 pro surovou vodu v kategorii A2. Čisté podzemní a povrchové vody obsahují většinou do 0,1 mg/l amoniakálního dusíku, dešťové vody a splaškové vody až desítky mg/l, rybníčky a močůvky stovky mg/l amoniakálního dusíku.

Snížené množství dusíku ve vodě vede k nárůstu fytoplanktonu, oproti tou větší koncentrace dusíku znamená tvorba vodního květu (eutrofizace vod). [22]



Obr. 14 – Schéma forem dusíku [22]

Konečným produktem rozkladu organicky vázaného dusíku jsou dusičnany. Nejvíce dusičnanů se do vody dostává z hnojiv a ze znečištění prostředím lidských a zvířecích výkalů. Povrchové a podzemní vody obsahují jednotky až desítky mg/l dusičnanů, srážkové vody desetiny až desítky mg/l. Podle vyhlášky č. 252/2004 Sb., která stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, je pro Českou republiku limit dusičnanů 50 mg/l.

Dusitany se do vod dostávají jako meziprodukt biologických procesů nitrifikace a denitrifikace a ze srážek. Koncentrace z podzemních a povrchových vod je v průměru od setiny po desetiny mg/l. Norma povoluje maximálně 0,1 mg/l dusitanů ve vodě.

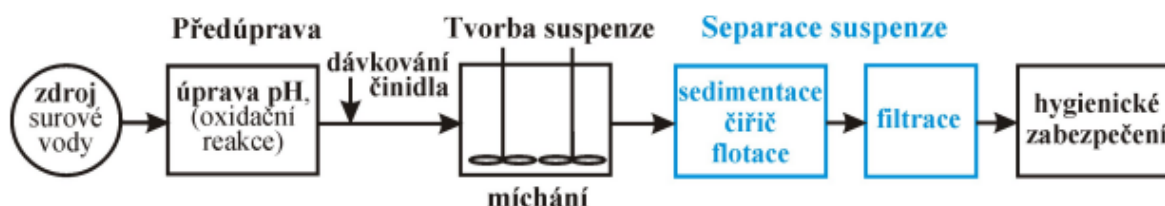
Amonné soli NH_4^+ se stanovují např. těmito metodami:

- spektrofotometrické stanovení ve formě indofenolu
- pomocí chlornanu sodného a fenolu
- spektrofotometrické stanovení s Nesslerovým činidlem
- prostřednictvím vínanu draselného a Nesslerovým činidlem
- potenciometrické stanovení iontovo-selektivní elektrodou
- využívá se mV/pH metr

2.6.5 Separační stupeň

Při úpravě podzemní vody o rozhodnutí počtu separačních stupňů rozhodují především obsah látek jako mangan a železo.

V okolí Čebína je poměrně kvalitní a čistá surová voda. Je potřeba nízká dávka činidel a pouze filtrace. Tudíž jsem navrhl jednostupňovou filtraci. Dvoustupňová filtrace se navrhuje pro surovou vodu s horší kvalitou (vzniká více suspenze) a jsou zapotřebí navíc zařízení jako sedimentace, flotace nebo čířič. [13]



Obr. 15 – Dvoustupňová separace – příklad [13]

Na počátku surové vody je čerpání ze zdroje, následuje úprava pH pomocí oxidačních reakcí. Po nadávkování činidel probíhá míchání, kde se tvoří suspenze, která se dále odděluje sedimentací, čířením nebo flotací. Dalším krokem je filtrace s hygienickým zabezpečením.

Čířič je zvláštní případ kombinace tvorby suspenze (míchání) a její separace (sedimentace). Při sedimentaci působí několik sil: gravitační (způsobené hmotností částice), vztahové (dané hustotou a objemem vytlačené kapaliny) a odporové síly (souvisí s tvarem částic, viskozitou kapaliny a s usazovací rychlostí). Při úpravě vody vzniká vločkovité seskupení, které má nepravidelný tvar a nelze vytvořit celkový model k popsání usazovací rychlosti.

Flotací je chápána jako separace suspenze na mikrobublínkách vzduchu. Výhodou jsou nižší množství chemikálií, menší zábor ploch, výborné výsledky při dobré kvalitě surové vody a vysoká účinnost při odstraňování nesedimentujících vloček. Nevýhodou jsou vyšší spotřeby energie (kvůli saturátoru a recirkulačnímu čerpadlu), neschopnost upravit vodu s velkým rozdílem v kvalitě surové vody a flotace musí být umístěna uvnitř budov. [13]

2.6.6 Technologie úpravy vody

Vyhláška č. 120/2011 Sb. je vyhláška, kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a

kanalizací). Tato vyhláška z roku 2011 uvádí ukazatele jakosti podzemní a povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standardních metod úpravy surové vody na pitnou. Existuje rozdělení do 3 kategorií jakosti surové vody:

- A1 – jednoduchá fyzikální úprava a s koncovou dezinfekcí k odstranění prvků a sloučenin
- např. rychlá filtrace a dezinfekce, písková filtrace, chemické nebo mechanické odkyselení či provzdušňování
- A2 – běžná fyzikální úprava a s koncovou dezinfekcí
- např. koagulační filtrace, infiltrace, pomalá biologická filtrace, flokulace, usazování, filtrace, jednostupňové/dvoustupňové odželezování nebo odmanganování
- A3 – intenzivní fyzikálně-chemické úpravy, mikrobiologické a biologické úpravy, rozšířená úprava a dezinfekce (chlorování)
- např. koagulace, flokulace, usazování, filtrace, adsorpce (aktivní uhlí), dezinfekce (ozon, konečné chlorování), jednostupňové/dvoustupňové odželezování nebo odmanganování [14]

Podle vybraných ukazatelů a jejich hodnot, jsem surovou vodu z úpravny Čebín zařadil do jakostní kategorie A2. Například železo se svým obsahem 0,85 mg/l a limitem 0,20 mg/l spadá do kategorie A2, mangan s obsahem 0,12 mg/l se řadí do kategorie A1 s limitem 0,05 mg/l. Amoniakální kyslík s hodnotou 0,73 mg/l patří do kategorie A2 s maximální hodnotou 0,50 mg/l. Vycházel jsem z mezních hodnot, které jsou uvedené v tabulce- Ukazatelé jakosti surové vody a jejich mezní hodnoty.

Surová voda nesmí obsahovat (kromě ukazatelů v tabulce: Tab. 6 - Ukazatelé jakosti surové vody a jejich mezní hodnoty) žádné mikroorganismy, parazity a látky jakéhokoliv druhu v počtu nebo koncentraci, které by mohly ohrozit veřejné zdraví po její úpravě na vodu pitnou. [14, 15]

Pořadové číslo	Ukazatel	Jednotka	A1	A2	A3
			mezní	mezní	mezní
1.	Reakce vody	pH	6,5-9,5	5-6,5 9,5-10	< 5 nebo > 10
2.	Barva	mg/l Pt	20	100	200
3.	Nerozpuštěné látky suš.	mg/l	10		
4.	Teplota	°C	20	25	25
5.*	Konduktivita	mS /m	125	125	125
6.	Pach	stupeň	2	5	8
7.	Dusičnany	mg/l	50	50	50
8.	Fluoridy	mg/l	1,5	1,5	1,5
9.	Adsorbovatelné org. vázané halogeny (AOX)	mg/l	0,01	0,02	0,03
10.	Železo celkové	mg/l	0,2	1	2
11.	Mangan	mg/l	0,05	0,5	1,5
12.	Měď	mg/l	0,05	0,05	0,1
13.	Zinek	mg/l	3	5	5
14.	Bor	mg/l	1	1	1
15.	Berylium	mg/l	0,002	0,002	0,002
16.	Nikl	mg/l	0,02	0,03	0,03
17.	Arsen	mg/l	0,01	0,01	0,02
18.	Kadmium	mg/l	0,005	0,005	0,005
19.	Chrom veškerý	mg/l	0,05	0,05	0,05
20.	Olovo	mg/l	0,01	0,025	0,05
21.	Selen	mg/l	0,01	0,01	0,01
22.	Rtuť	mg/l	0,001	0,001	0,001
23.	Kyanidy veškeré	mg/l	0,05	0,05	0,05
24.*	Sírany	mg/l	250	250	250
25.*	Chloridy	mg/l	100	100	250
26.	Tenzidy aniontové	mg/l	0,2	0,2	0,5
27.	Uhlovodíky C10-C40	mg/l	0,05	0,05	0,5
28.	Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)	µg/l	0,1	0,1	0,2
29.	Pesticidní látky celkem	µg/l	0,5	0,5	0,5
30.	Chemická spotřeba kyslíku manganistanem	mg/l	3	10	15
31.	Biochemická spotřeba kyslíku (BSK ₅) při 20° C s vyloučením nitrifikace	mg/l	3	5	7
32.	Amonné ionty	mg/l	0,5	1	3
33.	Celkový organický uhlík (TOC)	mg/l	5	7	10
34.	Huminové látky	mg/l	2,5	5,0	8,0
35.	Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	50	5000	50000
36.	Termotolerantní koliformní bakterie	KTJ/ 100 ml	20	2000	20000
37.	Fekální streptokoky (Enterokoky)	KTJ/ 100 ml	20	1000	10000
38.	Mikroskopický obraz	jedinci/ml	50	3000 500 ¹⁾	10000 1 000 ¹⁾
39.	Pesticid jednotlivý ²⁾	µg/l	0,1	0,1	0,5
40.	Hliník	mg/l	0,2	1,0	2,0

Tab. 6 - Ukazatelé jakosti surové vody a jejich mezní hodnoty [15]

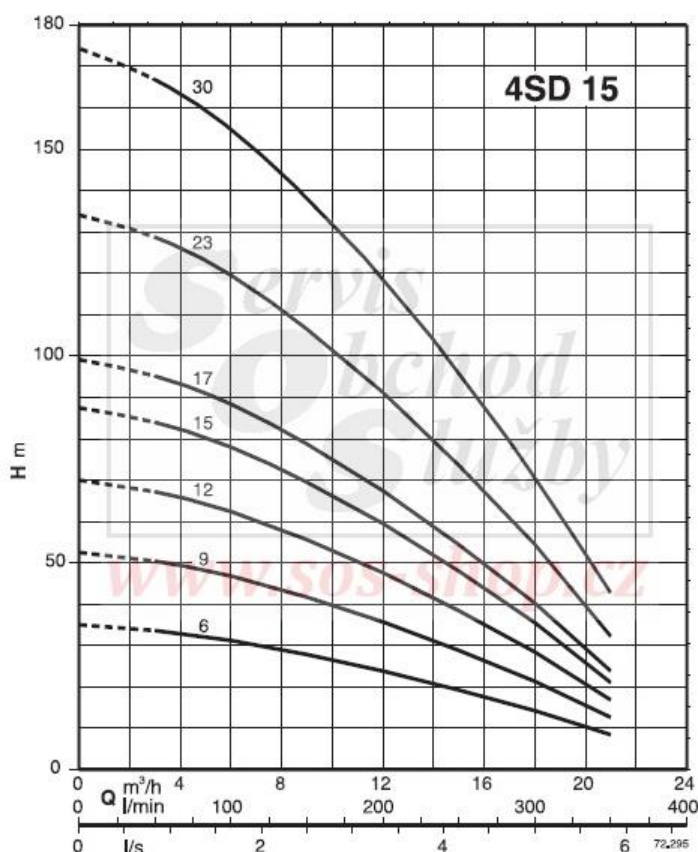
3 NÁVRH TECHNOLOGICKÉ LINKY

3.1 ZDROJ VODY

Podzemní voda je čerpána 35 m hlubokým hydrogeologickým vrtem HV-101, který vznikl už v roce 1985. Kvůli zvýšenému obsahu železa ve vodě z jímacích zdrojů v Čebíně, byla v roce 1999 odsouhlasena metoda eliminace železa, tzv. metoda IN SITU. Tato metoda je zastaralejšího typu a není schopna plnit požadavky na pitnou vodu, proto jsem navrhl dvojici tlakových filtrů.

Surová voda je čerpána čerpadlem z jímacího vrtu, maximální povolený odběr je $Q_{\max} = 5,5$ l/s. Voda je přiváděna polyethylenovým potrubím o DN 90 mm do budovy úpravy vody.

V jímacím vrtu jsem navrhl nové ponorné čerpadlo Calpeda 4 SD 15/30 o výkonu 7,5 kW a napětí 400 V. Maximální průtok je 21 m³/h a maximální výtlačná výška 168 m. Lze používat pro nepřerušovaný provoz. Hmotnost čerpadla je 61 kg a cena přes 50000 Kč. [34]



Obr. 16 – Ponorné čerpadlo do vrtu Calpeda [34]

3.2 PROVZDUŠŇOVÁNÍ – INJEKTOR

Při úpravě podzemní vody se nejčastěji využívá provzdušňování vody neboli aerace. Provzdušnění se aplikuje především k oxidaci železa a manganu. Podle starší normy ČSN 757111, voda měla doporučenou hodnotu nasycení kyslíkem (více jak 50 %). V dnešní době by pitná voda měla obsahovat kyslík, a proto je vhodné navrhovat technologická zařízení, která umožňují provzdušnění. Starší aerátory typu Inka jsou nahrazovány novějšími moderními aerátory, které předčí původní aerátory díky své jednoduchosti, úspoře energie, zmenšení zabrané plochy a bezúdržbovému provozu.

Podstatou procesu je přestup hmoty mezi kapalinou a plynnou fází, například rozpouštění vzdušného kyslíku ve vodě. Opačným procesem je odstranění rozpuštěných plynů, například odstranění agresivního oxidu uhličitého CO_2 . Podle Henryho zákona je rozpustnost plynů (při nízkých tlacích) přímo úměrná parciálnímu tlaku danou kapalinou nebo plynem.

Rozpustnost plynů se v technologii vody vyjadřuje jako hmotnostní koncentrace. Při teplotě 10 °C a tlaku 101,3 kPa je rozpustnost kyslíku 54,3 mg/l. Za stejných podmínek, ale za styku se vzduchem je rozpustnost kyslíku 11,3 mg/l. Zmenšení velikosti rozpustnosti je způsobeno parciálním tlakem kyslíku ve vzduchu, který je nižší a je úměrný jeho poměrnému zastoupení ve vzduchu (21 %). [26]

Nejvýznamnějším faktorem účinnosti rozpustnosti je koeficient přestupu k_{La} . Tento koeficient je nepřímo úměrný velikosti bublin. Přestup hmoty z plynu do kapaliny je lepší, čím jsou menší bublinky plynu. Hodnoty koeficientu přestupu se liší podle zařízení (viz. Tab. 7 – Koeficienty přestupu plynu do kapaliny-Hendricks). [27]

zařízení	koeficient přestupu hmoty [1/s]
Probublávané kolony	0,005 – 0,01
Náplňové kolony	0,005 – 0,02
Rozstříkovací věže	0,0007 – 0,015
injektory	0,1 – 3,0

Tab. 7 – Koeficienty přestupu plynu do kapaliny-Hendricks [27]

K vyšším hodnotám koeficientu přestupu hmoty u injektorů je získáváno díky tomu, že přísávaný vzduch v injektoru se rozptýluje do mikrobublinek. Výhodou injektorů je menší energetická náročnost, protože aerační věže a probublávané reaktory vyžadují velké objemy kapaliny, ve kterých dochází k rozpouštění plynu. Dalším plusem je, že není potřeba dvojice

čerpadel (pro čerpání a pro dmychadlo), ale stačí jen dimenzovat čerpadlo k provzdušnění vody.

Navrhl jsem injektor Mazzei 4091, který se využívá pro průtoky 300–1700 l/min. Díky injektoru je zřejmé, že vzduch bude dodáván do systému ve velkém nadbytku. To působí kladně na kvalitu vody i tím, že přebytečný plyn bude stripovat ze surové vody jak těžké látky, tak i agresivní oxid uhličitý. Tento injektor zaručí oxidaci železa a při vhodné době zdržení a vhodné hodnotě pH také oxidaci manganu. [27, 28]



Obr. 17 – Injektor Mazzei 4091 [28]

3.3 DÁVKOVÁNÍ CHEMIKálií

Prvním procesem úpravy je dávkování chlornanu sodného NaClO , který slouží k oxidaci železa a ke stanovení amonných solí. Další chemikálií, kterou je možno využít jako záloha je manganistan draselný KMnO_4 , který napomáhá k odstranění železa a manganu. Chlornan sodný je návrhovou prioritou pro svoji levnější pořizovací hodnotu. Jedná se o žlutozelenou kapalinu, která je dodávána v kanystrech. Počítá se s používáním chlornanu sodného, pokud v rámci poloprovozních zkoušek nebudou vycházet reakce, může se dávkovat manganistan draselný místo chlornanu. Dávkování je na stejném technickém principu, manganistan se rozpouští ve vodě.

Při regeneraci tlakových filtrů se využívá manganistanu draselného. Tato fialová až černá krystalická látka je velmi silné oxidační činidlo. Na rozdíl od železa se Mn^{II} může vyskytovat ve vyšších koncentracích i u povrchových vod. Mn^{II} se oproti železa oxiduje hůře vzdušným kyslíkem. Manganistan draselný je pro oxidaci manganu používán prakticky vždy v našich podmínkách, protože využívání slabších oxidačních činidel je často neúčinné při vyšších hodnotách pH. Pro oxidaci manganu se navrhuje především manganistan, jelikož je příliš drahý, tudíž pro oxidaci železa se používá hlavně provzdušnění. [36]



Obr. 18 – Manganistan draselný [37]

Jeden kilogram regeneračního manganistanu draselného se prodává kolem 190 Kč a dodává se plastových, voděodolných nádobách. [37]

Chlornan sodný někdy nazývaný jako tekutý chlor, který má významné dezinfekční účinky. Jedná se o vodný roztok kyseliny chlorné, a proto je prodávána v plastových kanystrech v kapalném skupenství. Navržený potravinářský chlornan sodný NaClO je atestovaný a schválený pro dezinfekci pitné vody podle vyhlášky č. 409/2005 Sb. Vyhláška o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody, podle přílohy č. 2, část E, bod č. 3 a je rovněž pravidelně testován na obsah nežádoucích příměsí. [33]



Obr. 19 – Chlornan sodný [33]

Chlornan se snadno dávkuje pomocí dávkovacích čerpadel, která jsou odolná proti agresivním chemikáliím. Dávkování je prováděno díky digitálnímu membránovému čerpadlu ProMinent GALA 1601 NPB 900, které je energeticky úsporné a obstarává přesné dávkování. Součástí čerpadla je i volba dávkování a průtoku, které se volí na řídicí jednotce. Na nejvzdálenějším místě by koncentrace chlóru neměla klesnout pod 0,05-0,3 mg/l. Deset litrů chlornanu sodného se prodává přibližně za 300 Kč, jeden litr vychází tedy na 30 Kč. [35]



Obr. 20 – Dávkovací čerpadlo ProMinent [35]

Nevýhodou je, že po nějaké době aktivní chlor vyprchává, a proto se dezinfekční účinnost snižuje. Po vyrobení nového chlornanu sodného je obsah aktivního chlóru 12 % až 14 % (140 až 180 g Cl_2/l). Tuto koncentraci výrobci garantují v létě 3 týdny a v zimě 5 týdnů. Po překročení garantované doby se koncentrace chloru snižuje a chlornan se stává neúčinným. Přesto je chlornan tou nejlepší a nejekonomičtější variantou. Při rozpouštění chlornanu sodného NaClO se vytváří kyselina chlorná HClO a hydroxid sodný NaOH . Dezinfekce chlornanem sodným nahradila dezinfekci plynným chlórem, protože chlornan je vhodnější pro úpravny menšího výkonu a je méně náročný na obsluhu. [33]

Při praní filtrů bude na potrubí prací vody napojeno dávkovací solenoidové čerpadlo o výkonu 97 l/h. Automatická stanice s řídicím systémem celého procesu přípravy bude sloužit k nadávkování regeneračního činidla.

Chlornan sodný a manganistan draselný se skladují ve skladu chemikálií v budově úpravy vody, protože tyto chemikálie vyžadují skladování na suchém, dobře větraném a chladném místě.

3.4 STATICKÝ MÍŠIČ

Za nadávkováním chemie jsem navrhl statický míšič Statiflo, který slouží k promíchání (homogenizaci) směsi a vody. Je vyroben z nerez oceli s vyjímatelnými míchacími elementy. Statický míšič neobsahuje žádné pohyblivé součásti, a proto je výhodnější. Potřebný výkon je dodáván kinetickou energií protékající kapaliny. Uvnitř tělesa jsou umístěny tzv. míchací elementy. Míchací elementy jsou speciálně vytvarované prostorové útvary, které nutí kapalinu měnit směr. Dochází k rozdělení proudnic kapaliny a následně ke křížení a opětovnému sloučení proudnic kapaliny. Ve statickém míšiči vzniká intenzivní promíchání všech kapalin až do stavu úplné homogenity, a to na krátké vzdálenosti. [24, 25]



Obr. 21 – Statický míšič–Statiflo [25]

3.5 TLAKOVÉ FILTRY

Kvůli zvýšenému množství železa a manganu jsem navrhl jeden separační stupeň s dvojicí tlakových filtrů.

Filtry jsem zapojil paralelně, potrubí je souběžně, ale průtok vody je stejný. Každý filtr TVK má minimální výkon (průtok) 3,42 l/s a maximální výkon 8,55 l/s. Filtry jsou napojeny na polyethylenové potrubí DN 90. Oba dva filtry jsou opatřeny odvzdušněním. Vzduch do filtrů je dodáván pomocí tlakové nádoby a kompresoru. Z filtrů se odebírají vzorky, které společně s vodou z praní putují do jímky prací vody. Z jímky prací vody je kal odvážen kalovým vozem. Přes bezpečnostní přepad v jímce přepadá voda a ústí do recipientu Kuřimka.

Navrhl jsem dvojici tlakových nerezových filtrů TVK vyráběné společností VODASERVIS s.r.o. sloužící k úpravě a filtraci vody. Filtry jsou navrhovány podle průtoků a to od 0,2 do 140 m³/hod. Nerezový materiál je s atestací na styk s pitnou vodou. certifikát

jakosti ČSN EN ISO 9001:2009. Obsahuje-li voda zvýšené množství chloridů nebo síranů, doporučují se filtry s přidavkem titanu nebo s nižším obsahem uhlíku. Tyto filtry jsou český výrobek, takže případné opravy a náhradní díly jsou snadno k dostání. TVK filtry obsahují otvory pro jednoduchou výměnu a kontrolu filtrační náplně. Výrobek zaručuje dlouhou životnost, jednoduché ovládání a možnost automatického provedení pro bezobslužný provoz celokovových filtrů. Tlaková ztráta nabývá hodnot maximálně 0,5 bar (5 m v. sl.), operativní tlak maximálně 6 bar (6 m v. sl.). [29]

Základní typy TVK filtrů s možností ovládat manuálně nebo automaticky:

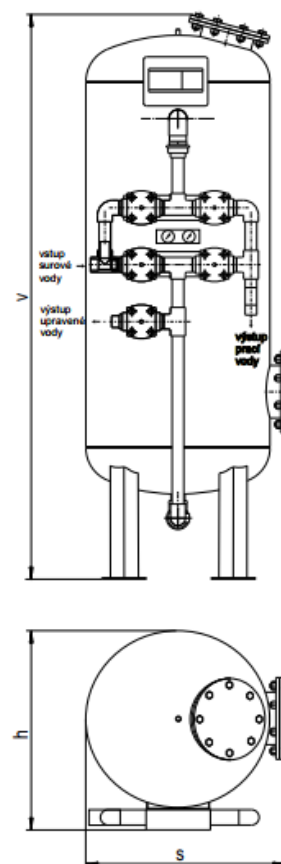
- Pískové
- Odmanganovací
- Dechlorační
- Odkyselovací

Praní může probíhat vodou se vzduchem (starší typ praní) nebo pouze vodou, což vede k ušetření elektrické energie. Vzduch je dodáván pomocí kompresoru o výkonu 1,2 kW.



Obr. 22 – Tlakový nerezový filtr TVK [29]

Typ	Průměr (mm)	Celkové rozměry š/h/v (mm)	Napojení (palce)	Výkon min-max (m ³ /hod)
TVK 17	168,3	230/300/1100	1	0,16 - 0,40
TVK 20	204	280/350/1400	1	0,25 - 0,63
TVK 25	254	300/400/1480	1	0,36 - 0,90
TVK 30	304	300/450/1500	1	0,57 - 1,41
TVK 40	400	410/600/1600	1 1/4	1,00 - 2,51
TVK 50	500	520/750/1950	1 1/4	1,57 - 3,93
TVK 60	630	650/850/2000	1 1/4	2,26 - 5,65
TVK 70	700	700/950/2050	1 1/4	3,08 - 7,69
TVK 80	800	800/1050/2070	1 1/2	4,02 - 10,05
TVK 90	900	900/1150/2100	1 1/2	5,09 - 12,72
TVK 100	1000	1100/1250/2100	2	6,28 - 15,70
TVK 110	1100	1200/1350/2150	2	7,60 - 19,00
TVK 120	1200	1300/1450/2150	2	9,04 - 22,61
TVK 130	1300	1400/1550/2200	2	10,61 - 26,53
TVK 140	1400	1500/1650/2250	2, 2 1/2	12,31 - 30,77
TVK 150	1500	1600/1750/2400	2, 2 1/2	14,13 - 35,33
TVK 160	1600	1750/1900/2450	2, 2 1/2	16,08 - 40,19
TVK 170	1700	1850/2000/2500	2, 3	18,15 - 45,37
TVK 180	1800	1950/2100/2550	2, 3	20,35 - 50,87
TVK 190	1900	2050/2200/2600	2 1/2, 4	22,67 - 56,68
TVK 200	2000	2150/2300/3100	2 1/2, 4	25,12 - 62,80



Obr. 23 – Filtry TVK–rozměry a výkony [29]

Podle průměrné potřeby ($4,60 \text{ l/s} = 16,56 \text{ m}^3/\text{h}$) a maximálního průtoku ($5,50 \text{ l/s} = 19,80 \text{ m}^3/\text{h}$) jsem vybral tlakový filtr TVK 140 o minimálním výkonu $12,31 \text{ m}^3/\text{h}$ ($3,42 \text{ l/s}$) a maximálním výkonu $30,77 \text{ m}^3/\text{h}$ ($8,55 \text{ l/s}$).

3.6 ČERPÁNÍ NA FILTRY

Z akumulční nádrže vede potrubí, na kterém je umístěno vertikální vícestupňové odstředivé čerpadlo Grundfos CR 45-1-1. Čerpadlo je vybaveno frekvenčním měničem, který umožňuje změnu otáček a změnu výkonu čerpadla. Hlava a základna čerpadla jsou z litiny, ostatní smáčené části jsou z nerezové oceli. Těsnění hřídele zajišťuje bezpečnou manipulaci, snadnou obsluhu a přístup. Čerpadlo je vybaveno třífázovým motorem, který je chlazený ventilátorem. Připojení na potrubí je přes přírubové příruby. Návrhový průtok čerpadla je $28,8 \text{ m}^3/\text{h}$, výkon 3 kW a výtlačná výška 15 m . [41]

Toto čerpadlo slouží k praní tlakových filtrů, podrobněji je praní filtrů (regenerace) popsána v podkapitole Praní filtrů – regenerace.



Obr. 24 – Čerpadlo pro filtry-Grundfos [41]

3.7 FILTRAČNÍ NÁPLŇ

filtrační materiál	zkratka	regenerace	materiál	úprava vody
Aktivní uhlí	AU	proplach vodou	porézní materiál	sorbční vlastnosti
silně bazický Anex 520	N	roztok NaCl	iontoměnič - silně bazický anex	odstraňování dusičnanů
Birm	Bi	proplach vodou	zeolit	odželezování, odmanganování
Crystal Right	Cr	roztok NaCl	směs katexu a zeolitu	změkčování vody, odželezování, odmanganování
Augetin	Do	praní vodou	porézní materiál	odkyselování vody
Ecomix	E	roztok NaCl	směs materiálů	změkčování vody, odželezování, odmanganování
GreenSand Plus	GS	roztok KMnO_4	zeolit	odželezování, odmanganování
silně kyselý Katex	D, I	roztok NaCl	iontoměnič - silně kyselý katex	změkčování vody
Křemičitý písek VL2	KP2	proplach vodou	křepičitý písek	písková filtrace
Křemičitý písek VL4	KP4	proplach vodou	křemičitý písek	písková filtrace
Mix Bed	MB	ne	směs katexu a anexu	dočištění vody za reverzní osmózou
MTM	MT	roztok KMnO_4	zeolit	odželezování, odmanganování
Pyrolox	Py	proplach vodou	zeolit	odželezování, odmanganování

Tab. 8 – Filtrační materiály [23]

K úpravě filtrační náplně se využívají materiály, které mají různé vlastnosti a složení. Přehled některých materiálů, zkratk, způsobu regenerace, materiálu a typy úpravy vody jsou uvedeny v tabulce Tab. 8 – Filtrační materiály. [23]

Kvůli typu znečištění jsem zvolil filtrační materiál MTM, který slouží k odželezování a odmanganování. Filtrační náplň MTM je tmavě hnědý granulovaný oxid manganičitý s redukčními vlastnostmi. Tento materiál je možné využívat s pH 6,2 – 8,5 a ve vodě nemusí být obsažen rozpuštěný kyslík. Regenerace se používá pomocí roztoku manganistanu draselného KMnO_4 . [23]

Vlastnosti filtrační náplně MTM:

• Barva:	tmavě hnědá
• Provozní teplota:	max 38 °C
• Velikost balení – pytel:	28 l / 21 kg
• Oblast pH:	6,2 – 8,5
• Specifická hmotnost:	2000 kg/m ³
• Objemová hmotnost:	715 kg/m ³
• Regenerační činidlo (KMnO_4) na liter náplně:	1,5 – 2 g
• Kapacita na liter náplně:	1,4 g Fe nebo 0,7 g Mn
• Výška lože:	600–900 mm
• Střední velikost částic:	0,45 mm
• Provozní průtok	8–13 m ³ /h/m ²
• Průtok při vymývání	20–24 m ³ /h/m ²
• Cena za 1 liter	125 Kč [23]



Obr. 25 – Filtrační materiál – MTM [23]

Tlakový filtr vyžaduje 2 filtrační vrstvy-horní a dolní vrstvu. Dvouvrstvý filtr se musí navrhovat s rozdílnou objemovou hmotností, aby nedocházelo při praní filtru k promísení filtračních náplní z jedné vrstvy do druhé. Při dostatečném objemovém rozdílu je zajištěno opětovné uspořádání.

Vrchní vrstva přispívá k odmanganování pomocí kontaktní filtrace. U horní vrstvy se musí jednou za čas uskutečnit regenerace náplně, která probíhá pomocí roztoku manganistanu draselného KMnO_4 . Tato regenerace probíhá, až se vyčerpá všechna oxidační kapacita. Navrhl jsem filtrační materiál z MTM o výšce lože 700 mm. [23]

Spodní vrstva napomáhá k zachycení nežádoucích látek a slouží jako podložní vrstva. Nejdostupnějším a nejlevnějším filtračním materiálem je preparovaný křemičitý písek Dorsilit. Tento písek lze aplikovat pro uzavřené i pro otevřené filtry, ale také při vícevrstvé filtraci. Používá na základní filtraci mechanických nečistot a na vysrážení vloček při čiření vody a srážení železa. Vodárenský písek se dodává v pěti základních třídách zrnitosti, první třída obsahuje velmi jemná zrna (velikost zrn 0,4 - 0,8 mm), druhá třída jsou jemná zrna, třetí třída je standardní velikost zrn, čtvrtá třída zastupuje jemný štěrk a poslední pátá třída představuje štěrk (velikost zrn 3,2 - 5,6 mm).

Vlastnosti filtrační náplně Dorsilit:

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| • Objemová hmotnost | 1600 kg/m ³ |
| • Výška lože: | 600-1200 mm |
| • Rychlost filtrace | 10–30 m/h |
| • Velikost balení – pytel | 25 kg, 50 kg [12] |



Obr. 26 – Filtrační materiál – Dorsilit [12]

3.8 PRANÍ FILTRŮ - REGENERACE

Praní filtrů probíhá vodou a vzduchem odděleně u navržených filtrů. Po vzduchu o intenzitě 10-15 l/s/m² se přidává tlaková voda o menší intenzitě 4-5 l/s/m². Dochází k expanzi filtrační náplně a prací voda z filtrů odtéká do jímky. Vzduch je dodáván pomocí tlakové nádoby a kompresoru.

Po skončení regenerace se filtr přivede do tzv. provozního režimu. To znamená, že filtrační náplň není plně funkční, a proto je zapotřebí podstoupit 3–5 minut tzv. zafiltrování. Během zafiltrování se filtrační materiál usadí a odplaví se nečistoty. Po zafiltrování je filtr schopen kvalitnímu provozu. [12]

Při vyčerpání horní vrstvy filtračního materiálu MTM musí dojít k regeneraci pomocí roztoku manganistanu draselného. Abych určil délku regeneračního cyklu, vypočítal jsem *specifický objem náplně* V_{sp} .

$$V_{sp} = \frac{c(Fe)}{c_{sp}(Fe)} + \frac{c(Mn)}{c_{sp}(Mn)}$$

$c(Fe)...$	koncentrace železa v surové vodě [g/l]
$c(Mn)...$	koncentrace manganu v surové vodě [g/l]
$c_{sp}(Fe)...$	specifická kapacita železa [g/l]
$c_{sp}(Mn)...$	specifická kapacita manganu [g/l]

Vycházel jsem z hodnot, že specifická kapacita pro železo je 1,4 g/l a pro mangan 0,7 g/l. Koncentraci železa jsem uvažoval 0,85 mg/l a koncentraci manganu 0,12 mg/l. Vyšlo mi, že specifický objem náplně je 0,00078 l/l. Neboli je potřeba 0,00078 litrů manganistanu draselného na litr surové vody.

3.9 AKUMULACE PRACÍ VODY

Z dvojice tlakových filtrů natéká prací voda a voda při zafiltrování do akumulace prací jímky o objemu 60 m³. Tato akumulární jímka je opatřena čerpadlem odsazené prací vody, které čerpá relativně čistou vodu, vracející se přes indukční průtokoměr zpět před tlakové filtry. Indukční průtokoměr ze sítě napájený 230 V s označením ELIS FLONET FN20XX.1 je určen k měření průtoku elektricky kapaliny. Umožňuje měření v obou směrech proudění kapaliny. Čidlo průtoku je bez mechanických pohyblivých částí a hydraulicky neovlivňuje tlakové poměry v potrubí. Vyhodnocovací technika zajišťuje napájení čidla, řízení dávkování, detekce nezaplaveného potrubí, vnitřní diagnostiku stavu průtokoměru, automatické čištění elektrod a volbu jednotek pro zobrazování.



Obr. 27 – Indukční průtokoměr FLONET [38]

Průtokoměry FLONET lze instalovat na potrubí o dimenzi DN6 až DN1200. Já jsem pro úpravnu vody Čebín navrhl celkem 2 průtokoměry. První na potrubí profilu 110 mm, které vrací prací vodu zpět před dvojici tlakových filtrů. Druhý indukční průtokoměr FLONET FN20XX.1 jsem osadil za čerpadla, tlakové filtry a dávkování NaClO. Tento průtokoměr je na potrubí o profilu 160 mm a měří především průtok, který je dopravován do dvou vodojemů VDJ1 a VDJ2. [38]

Čerpadlo odsazené prací vody jsem navrhl od firmy Wilo, typu CronoNorm-NL 80/160. Toto jednostupňové odstředivé čerpadlo má základovou desku dle EN 733, je opatřeno axiálním sacím hrdlem, radiálním hrdlem výtlaku, ochranným krytem spojky a motorem namontovaným na společné desce. [39]



Obr. 28 – Čerpadlo odsazené prací vody Wilo [39]

V akumulční jímce prací vody je ještě jedno čerpadlo, stejného typu Wilo, ale menšího výkonu, které slouží k čerpání prací vody do vedlejší kalové jímky o objemu 10 m³. Z kalové i akumulční jímky jsou v úrovni hladiny instalovány bezpečnostní přepady, kterými přepadá odsazená voda do recipientu Kuřimka. Fekální vůz vyváží kal z kalové jímky, který jezdí na ČOV Čebín.

3.10 AKUMULACE UPRAVENÉ VODY

Z tlakových filtrů potrubím o profilu 90 mm natéká přefiltrovaná voda do akumulční jímky o objemu 250 m³. Bezpečnostním profilem o tloušťce 250 mm přepadá voda do recipientu Kuřimka. Říčka Kuřimka začíná pramenem pod Babím lomem u obce Šebrov. Její tok pokračuje přes Kuřim, Moravské Knínice, Chudčice a u Veverské Bítýšky se Kuřimka vlévá do Svratky. Centrem Kuřimi protéká Kuřimka a o její čistotě vypovídá výskyt ondatry, kterou jsme s přítelkyní na podzim spatřili a vyfotili.



Obr. 29 – Recipient Kuřimka [40]

Akumulční nádrž se vypouští potrubím u dna nádrže o profilu 100 mm, které je opatřeno šoupátkem a ústí do řeky Kuřimka.

3.11 TLAKOVÉ VENTILY

Švýcarská společnost Hawido vyrábí regulační ventily pracující bez nutnosti připojení na energetický zdroj, to znamená, že činnost ventilů je ovládána pouze hydraulicky s využitím

tlaku provozního média. Společnost Hawido je členem skupiny HAWLE a využívá těžkou antikorozi úpravu epoxidovým práškem vířivým slinováním. Ventily se využívají v různé variabilitě, například jako ventil regulující tlak, průtok, hladinu v nádrži nebo uzavření v případě havárie, popřípadě ochranu proti rázu. Ventil může sdružovat více funkcí, tím se ušetří náklady na pořízení a prostor.

Dalšími výhodami jsou: uzavíratelné řídicí vedení bez přerušení provozu, jednoduché seřízení díky manometru a pákovému systému, antikorozi odolnost, zabudovaný filtr nečistot, snadná údržba a dlouhá životnost.

Navrhl jsem dvojici ventilů pro redukci tlaku se zábranou zpětného toku s označením série 1501. Ventil pro redukci tlaku redukuje proměnlivý vstupní tlak na konstantní tlak. Kolísavý vstupní tlak a průtok nemají vliv na regulovaný vstupní tlak. Výstupní tlak je nastavitelný v rozsahu 1,5 až 12,0 bar. Klesne-li vstupní tlak pod hodnotu výstupního tlaku, funkce zabránil zpětnému toku vody zpět. Navržené ventily se používají pro pitnou vodu, k redukci tlaku na síti a k nouzovému plnění sítě se zabráněním zpětného toku. [30]



Obr. 30 – Tlakový ventil Hawido 1501 [30]

3.12 KOMPRESOR

Na úpravnu vody Čebín jsem navrhl pístový kompresor řady COSMOS. Tento olejem mazaný kompresor dosahuje výkonnosti 0,17 až 0,29 m³/min. Funkčně plně soběstačné zařízení s elektromotorem 1,5 kW je snadno přemístitelné. Kvalitní sací filtr s filtrační vložkou zajišťuje čistotu nasávaného vzduchu. Tlaková nádoba s tvrdým epoxidovým práškovým lakem zabezpečuje dlouhodobou antikorozi ochranu proti proražení. Kompresor je osazen manometry s indikací tlaku uvnitř tlakové nádoby i pracovního tlaku na

výstupu z kompresoru. Pohodlnou manipulaci s kompresorem zajišťuje rukojeť a gumová kolečka.

Pístovým kompresorem se dosahuje změny objemu plynu přímočarým vratným pohybem pístu ve válci. Při pohybu pístu dolů se plyn sacím ventilem nasává, pohybem nahoru se plyn stlačuje a pak vytlačuje výtlačným ventilem z válce.

Do vybraného kompresoru je nutné dodávat olej, který zajišťuje mazání a je rozstříkáván do prostoru válce pod pístem a pístním kroužkem je stírán zpět. Existují i pístové bezolejové kompresory, které se hodí pro specifické účely. [32]



Obr. 31 – Kompresor COSMOS [32]

3.13 TLAKOVÁ NÁDOBA

Navrhl jsem vyrovnávací tlakovou nádobu CIMM AFE CE s vyměnitelnou membránou. Jedná se o ocelovou vertikální tlakovou nádobu s nožičkami. Výška nádoby je 2130 mm, průměr 800 mm, objem 1000 l a maximální provozní tlak 10 bar.

Výhodami tlakových nádob CIMM jsou vyměnitelné vaky, minimální údržba a vyloučení možnosti kontaminace u pitné vody. [31]

Do tlakové nádoby je přiváděn vzduch z kompresoru.



Obr. 32 – Tlaková nádoba CIMM [31]

3.14 ČERPÁNÍ NA VODOJEMY

Z akumulční nádrže o objemu 250 m^3 proudí voda přes dvojici čerpadel Wilo s označením CronoNorm-NL 125/315. Čerpadla jsou od stejného výrobce a stejného typu, jak čerpadla v akumulční jímce, jen jsou s větším výkonem a jsou osazena na širším potrubí. Tato čerpadla čerpají vodu, která protéká přes dvojici tlakových ventilů. Dále se čerpaná voda spojuje do společného potrubí, které je z polyethylenu DN150, kde dochází k poslednímu hygienickému zabezpečení vody pomocí dávek chlornanu sodného NaClO . Za nadávkováním chemie je osazen indukční průtokoměr ELIS FLONET FN20XX.1.

Upravená voda pokračuje na dvojici vodojemů VDJ1 a VDJ2 o objemech 650 m^3 , respektive 150 m^3 . Oba vodojemy jsou podzemní s nadzemním armaturním objektem. Celkový výškový rozdíl mezi úpravnou vody a vodojemem je 86 m. Vodojemy jsou mezi sebou propojené a ve vodojemech jsou v obou hladiny na stejné úrovni. Z vodojemů VDJ1 a VDJ2 vede vodovodní potrubí ke spotřebitelům. Vodojemy zásobují skupinový vodovod Tišnov a doplňují soustavu vodojemů Tišnov Květnice, Tišnov Čimpek, Tišnov Klucanina, Předklášteří Čepička, Šerkovice, Železné, Jamné a Heroltice Dřínová. Vodovodní řad Tišnov zásobuje obce: Tišnov, Šerkovice, Lomnička, Předklášteří, Hradčany, Čebín, Sentice, Heroltice, Jamné a Březina u Tišnova. Celkově se jedná o zásobení asi 13300 obyvatel.

4 TEA WATER

Metodika TEA Water slouží k předběžnému hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury. TEA Water je zkratka, která vychází ze slovního spojení TEchnical Audit of Water distribution systems neboli technický stav vodárenského systému. Jedná se o softwarovou aplikaci, která byla vyvinuta na ÚVHO na Vysokém učení technickém v Brně. [4][5]

Aplikace TEA Water se dělí podle složitosti vodárenského systému, podle objektů a jeho částí. Metodika je rozčleněna do sedmi samostatných modulů:

- TEAR ... vodní zdroje
- TEAT ... úpravny vody
- TEAM ... příváděcí řady
- TEAA ... vodojemy
- TEAP ... čerpací stanice
- TEAN ... vodovodní síť
- TEAS ... vodovodní řady [6]

V diplomové práci jsem využil šesti modulů (kromě modulu čerpací stanice – TEAP). Celkově jsem vyplňoval informace o sedmi objektech. Jako informace k vyplnění otázek mi sloužila vypůjčená projektová dokumentace, osobní návštěva úpravny vody Čebín a internetové stránky.

Moduly aplikace TeaWater	
R	Jímací objekty 1 Hodnocení Nový objekt
M	Příváděcí řady 1 Hodnocení Nový objekt
P	Čerpací stanice 0 Hodnocení Nový objekt
S	Vodovodní řady 1 Hodnocení Nový objekt
T	Úpravny vody 1 Hodnocení Nový objekt
A	Vodojemy 2 Hodnocení Nový objekt
N	Rozvodná síť 1 Hodnocení Nový objekt
	Objektů celkem 7

Obr. 33 – Moduly aplikace TEA Water [6]

Původ metodiky TEA Water pochází z obecné metody FMEA (Failure Mode and Effects Analysis).

Rozdíl mezi oběma metodikami je ten, že TEA Water je rozšířena o další úroveň – faktor F. Technické ukazatele se nehodnotí přímo, ale pomocí vybraných faktorů pro určitý ukazatel. Počet faktorů bylo navrženo, aby požadavky na vstupu nebyly obsáhlé nebo aby nebyly vynechány podstatné informace. K hodnocení faktorů se využívá rozdílná stupnice, kdy faktor může nabývat čtyř hodnot:

- 0 ... nedostatek informací, faktor není hodnocen
- 1 ... příznivý stav
- 2 ... střední stav
- 3 ... nejméně příznivý stav

Nejlepším stavem je hodnota faktoru 1, tento stav nevyžaduje opatření. Nejhorší stav nabývá hodnot 3, kde by se mělo uvažovat s nápravným opatřením. [4]

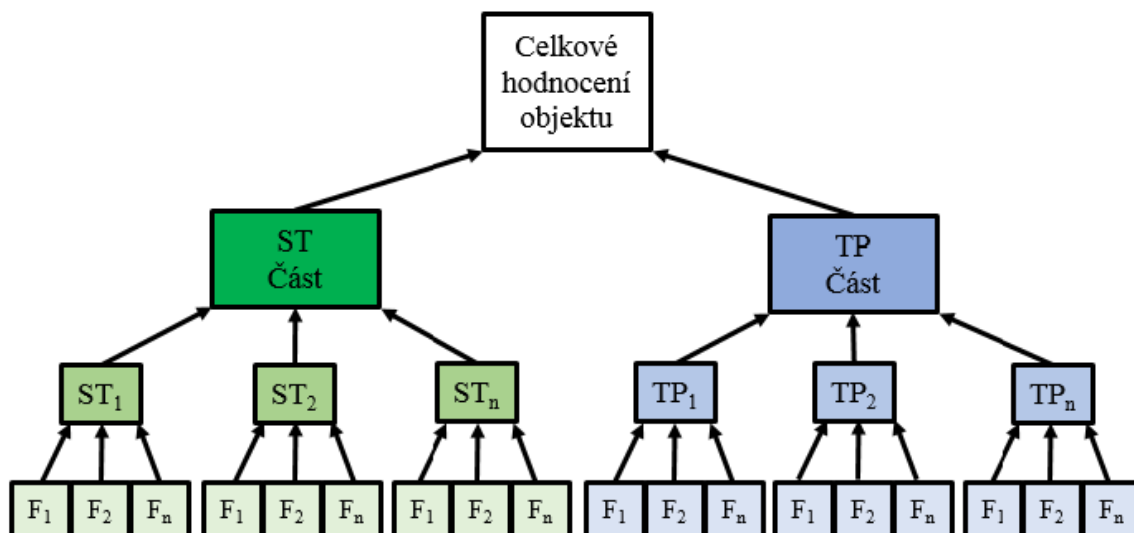
TEA Water využívá multikriteriální hodnocení objektu a výsledky jsou získány prostřednictvím kategorizačních metod. Číselně nebo slovním popisem se stanovují hranice pro zařazení do kategorií. Technický stav celkem popisuje 5 kategorií, které jsou označovány K1–K5.

Strukturální hodnocení metodiky TEA Water lze rozdělit do dvou skupin:

- Stavebně-technická část (ST)
 - jednotlivé ST ukazatele (ST_1, ST_2, \dots, ST_n)
- Technologicko-provozní část (TP)
 - jednotlivé TP ukazatelé (TP_1, TP_2, \dots, TP_n) [4]

Například modul TEAT, který je dále podrobněji popisován obsahuje:

- 3 stavebně-technické části:
 - stav stavební konstrukce, stav technologických prvků a ochrana objektu proti vnějším vlivům
- 6 technologicko-provozní části:
 - rozsah technologie úpravy vody, čerpací technika, měření, monitoring a manipulace, separační technologie, další procesy, efektivita provozu a bezpečnost



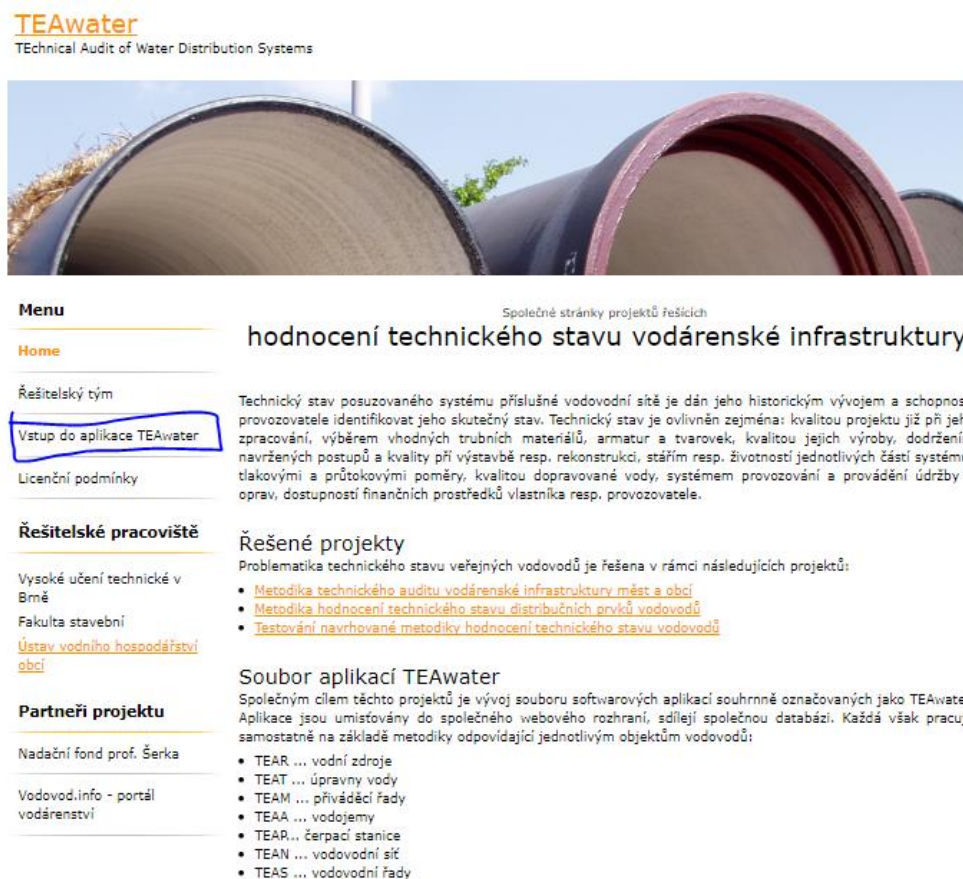
Obr. 3 – Struktura hodnocení – TEA Water [4]

Hodnocení je rozděleno do 6 skupin A, B, C, D, E a N. Prvních pět skupin je dále rozčleněno na mezistupně + a -. Nejlepší stav začíná od kategorie A, nežádoucí stav je označován E a hodnocení N znamená nedostatek informací.

Objekt	Část	Ukazatel	Popis stavu
A+, A, A-	A	1	optimální stav, nevyžaduje žádná opatření vedoucí ke změnám hodnot tohoto TU
B+, B, B-	B	2	nízká míra rizika příslušného TU a rovněž nevyžaduje žádná zásadní opatření
C+, C, C-	C	3	jedná se o průměrné hodnoty příslušného TU, které nevyžadují okamžitá řešení
D+, D, D-	D	4	kritické hodnoty příslušného ukazatele. Měla by být realizována případně plánována opatření na řešení tohoto stavu
E+, E, E-	E	5	nežádoucí stav, který vyžaduje dle možnosti provozovatele okamžité řešení, které povede k dosažení lepších hodnot příslušného ukazatele
N	N	N	pro hodnocení tohoto TU není dostatek informací

Obr. 35 - Kategorie hodnocení TEA Water [4]

Do aplikace TEA Water se lze dostat přes internetovou adresu: www.teawater.cz. Po otevření záložky Vstup do aplikace TEAwater potřebujete přihlašovací údaje (jméno a heslo).



Obr. 36 – Internetová stránka TEA Water [6]

4.1 VÝSLEDKY APLIKACE TEA WATER

Celkově jsem hodnotil 6 modulů, které obsahovaly 7 objektů (jímací objekt, přiváděcí řad, vodovodní řad, úpravnu vody, dvojici vodojemů a rozvodnou síť).

Po popsání všech stavů podle aplikace TEA Water patří úpravna vody Čebín do skupiny D+. Což znamená, že ve většině případů se jedná o kritické hodnoty a měla by být realizována brzká opatření.

Jímací objekt s vrtem HV-101, rokem výstavby 1986 a maximálního odběru 5,5 l/s vyšel v kategorii C+ (41-45 %). Toto hodnocení znamená průměr a nevyžaduje okamžitá řešení.

Přiváděcí řad vyšel s hodnocením C (46-55 %), neboli průměrné hodnocení bez nutných úprav.

Vodovodní řad Tišnov postavený již v roce 1967 vyšel se stejným hodnocením, jak modul TEAM, tedy C (46-55 %).

Oba vodojemy vyšly s průměrným hodnocením C (46-55 %)

Rozvodná síť Tišnov, která zásobuje asi 13300 obyvatel vyšla nejhůře, spadá do kategorie D+ (66-70 %).

Jednotlivé objekty vyšly následovně:

- Jímací objekty – modul TEAR

Hodnocení objektu	Základní informace	Výsledky auditu	Výsledky auditu	Výsledky auditu
Projekt: Úpravna vody Čebín				
Objekt: HV - 101				
C+ [41-45%]	CELKOVÉ HODNOCENÍ			VÁHA
C	ST: STAVEBNĚ-TECHNICKÁ ČÁST (TEAR)			0,5
3	ST1	STAVEBNÍ KONSTRUKCE		0,5
2	ST2	OCHRANA OBJEKTU PROTI VNĚJŠÍM VLVŮM		0,5
C	TP: TECHNOLOGICKO-PROVOZNÍ ČÁST (TEAR)			0,5
3	TP1	TRUBNÍ VYSTROJENÍ, ŽLABY		0,2
3	TP2	ČERPACÍ TECHNIKA		0,2
3	TP3	MĚŘENÍ A MONITORING		0,15
1	TP4	VYDATNOST A ODBĚR		0,15
3	TP5	JAKOST SUROVÉ VODY		0,15
2	TP6	STAV OCHRANNÉHO PÁSMO		0,15
<input type="button" value="Přepočítat"/> <input type="button" value="Export"/> <input type="checkbox"/> Zobrazit faktory				

Tab. 9 – TEA Water modul TEAR [6]

- Přiváděcí řady – modul TEAM

Hodnocení objektu	Základní informace	Audit: Stavebně-technický
Projekt: Úpravna vody Čebín		
Objekt: Úsek č. 1		
C [46-55%]	CELKOVÉ HODNOCENÍ	
C	ST: STAVEBNĚ-TECHNICKÁ ČÁST (TEAM)	
4	ST1	STAŘÍ A STAV TRUBNÍHO ŘADU
1	ST2	STAVEBNĚ TECHNICKÉ PROVEDENÍ ŘADU
4	ST3	PROTIKOROZNÍ OCHRANA ŘADU
C	TP: TECHNOLOGICKO-PROVOZNÍ ČÁST (TEAM)	
4	TP1	PORUCHOVOST ŘADU
2	TP2	HYDRAULICKÁ KAPACITA ŘADU
4	TP3	ZTRÁTY VODY
4	TP4	VLIV NA KVALITU VODY
<input type="button" value="Přepočítat"/> <input type="button" value="Export"/> <input type="checkbox"/> Zobrazit faktory		

Tab. 10 – TEA Water modul TEAM [6]

- Vodovodní řady – modul TEAS

Hodnocení objektu

Základní informace

Audit: Stavebně-technický

Audit: Technologicko-provozní

Výsledky auditu

Projekt: Úpravna vody Čebín

Objekt: Vodovodní řad Tišnov

C [46-55%]	CELKOVÉ HODNOCENÍ		VÁHA
C	ST: STAVEBNĚ-TECHNICKÁ ČÁST (TEAS)		0,5
4	ST1	STAŘÍ A STAV VODOVODNÍHO ŘADU	0,5
2	ST2	STAVEBNĚ TECHNICKÉ PROVEDENÍ ŘADU	0,4
4	ST3	PROTIKOROZNÍ OCHRANA ŘADU	0,1
C	TP: TECHNOLOGICKO-PROVOZNÍ ČÁST (TEAS)		0,5
4	TP1	PORUCHOVOST ŘADU	0,3
4	TP2	VÝZNAMNOST ŘADU V PÁSMU	0,3
1	TP3	TLAKOVÉ POMĚRY NA ŘADU	0,2
4	TP4	PROVOZNÍ UKAZATEL	0,2

Přepočítat

Export

☐ Zobrazit faktory

Tab. 11 – TEA Water modul TEAS [6]

- Vodojemy – modul TEAA

Seznam objektů

Základní informace

Audit: Stavebně-technický

Audit: Technologicko-provozní

Výsledky auditu

Projekt: Úpravna vody Čebín

Objekt: VD_{J1}

C [46-55%]	CELKOVÉ HODNOCENÍ		VÁHA
C	ST: STAVEBNĚ-TECHNICKÁ ČÁST (TEAA)		0,6
3	ST1	STAV STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ AKUMULAČNÍ KOMORY	0,3
3	ST2	STAV STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ MANIPULAČNÍ KOMORY	0,2
4	ST3	STAV TECHNICKÉHO VYBAVENÍ AKUMULAČNÍ KOMORY	0,2
3	ST4	STAV TECHNICKÉHO VYBAVENÍ MANIPULAČNÍ KOMORY	0,3
C	TP: TECHNOLOGICKO-PROVOZNÍ ČÁST (TEAA)		0,4
3	TP1	VELIKOST AKUMULACE	0,25
2	TP2	VLIV AKUMULACE NA KVALITU VODY	0,25
2	TP3	TLAKOVÉ POMĚRY V SÍTI	0,2
N	TP4	BIOLOGICKÝ AUDIT	0,3

Přepočítat

Export

☐ Zobrazit faktory

Tab. 12 – TEA Water modul TEAA [6]

- Rozvodná síť – modul TEAN

Seznam objektů

Základní informace

Audit: Stavebně-technický

Audit: Technologicko-provozní

Výsledky auditu

Projekt: Úpravna vody Čebín

Objekt: Rozvodná síť Tišnov

D+ [66-70%]	CELKOVÉ HODNOCENÍ		VÁHA
C	ST: STAVEBNĚ-TECHNICKÁ ČÁST (TEAN)		0,4
3	ST1	PRŮMĚRNÉ STÁŘÍ TRUBNÍHO MATERIÁLU	0,5
4	ST2	STAV ARMATUR NA SÍTI	0,4
3	ST3	STAV ARMATURNÍCH ŠACHET	0,1
D	TP: TECHNOLOGICKO-PROVOZNÍ ČÁST (TEAN)		0,6
4	TP1	PORUCHOVOST ŘADU	0,4
3	TP2	ZTRÁTY VODY	0,25
4	TP3	KVALITA VODY V SÍTI	0,25
3	TP4	TLAKOVÉ POMĚRY V PÁSMU	0,1

Přepočítat

Export

☐ Zobrazit faktory

Tab. 13 – TEA Water modul TEAN [6]

- Úpravny vody – modul TEAT

Hodnocení objektu		Základní informace		Audit: Stavebně-technický	
Audit: Technologicko-provozní		Výsledky auditu			
Projekt: Úpravna vody Čebín					
Objekt: Úpravna vody Čebín					
D+ [66-70%]	CELKOVÉ HODNOCENÍ				VÁHA
C	ST: STAVEBNĚ-TECHNICKÁ ČÁST (TEAT)				0,3
3	ST1	STAV STAVEBNÍ KONSTRUKCE			0,3
3	ST2	STAV TECHNOLOGICKÝCH PRVKŮ			0,4
2	ST3	OCHRANA OBJEKTU PROTI VNĚJŠÍM VLIVŮM			0,3
D	TP: TECHNOLOGICKO-PROVOZNÍ ČÁST (TEAP)				0,7
4	TP1	ROZSAH TECHNOLOGIE ÚPRAVY VODY			0,2
4	TP2	ČERPACÍ TECHNIKA (ČS UPRAVENÉ VODY)			0,15
4	TP3	MĚŘENÍ, MONITORING A MANIPULACE			0,1
N	TP4	SEPARAČNÍ TECHNOLOGIE			0,25
3	TP5	DALŠÍ PROCESY			0,2
2	TP6	EFEKTIVITA PROVOZU A BEZPEČNOST			0,1
<div>Přepočítat</div> <div>Export</div> <div><input type="checkbox"/> Zobrazit faktory</div>					

Tab. XY – TEA Water – modul TEAT [6]

4.2 MODUL TEAT

V této podkapitole podrobněji popíši modul TEAT – úpravna vody. Tento modul je rozdělen na audity:

- stavebně-technický
 - tento audit se dělí na 3 ukazatele (ST):
 - ST1 - stav stavební konstrukce,
 - ST2 - stav technologických prvků
 - ST3 - ochrana objektu proti vnějším vlivům
 - každý ukazatel má své faktory:
 - pro ST1 faktory F1-F7:
 - stropní konstrukce, stěny, podlahy, fyzický stav otvorů, schodiště, zábradlí, žebříky, madla, stupačky, elektroinstalace a stav prostupů potrubí konstrukcemi
 - pro ST2 faktory F1-F5:
 - betonové nádrže, kovové a jiné nádrže, potrubní rozvody, armatury a strojní vybavení
 - pro ST3 faktory F1-F4:
 - vstup do objektu a okna, sluneční svit, větrání a jestli se nachází úpravna vody v záplavové oblasti Q_{100}
- technologicko-stavební
 - rozdělení do 6 ukazatelů (TP):
 - TP1 – rozsah technologie úpravy vody
 - TP2 – čerpací technika
 - TP3 – měření, monitoring a manipulace
 - TP4 – separační technologie
 - TP5 – další procesy
 - TP6 – efektivita provozu a bezpečnost
 - faktory ukazatelů:
 - pro TP1 faktory F1-F4:
 - index upravitelnosti, separační účinnost, legislativa a četnost nevyhovujících rozborů
 - pro TP2 faktory F1-F4:
 - stáří čerpacích jednotek, poruchovost čerpacích jednotek, poloha pracovního bodu a účinnost čerpadel
 - pro TP3 faktory F1-F3:
 - měření hydraulických veličin, měření kvalitativních parametrů a provozní manipulace

- pro TP4 faktory F1-F3:
 - počet separačních stupňů, parametry procesu a konstrukce separačních jednotek
- pro TP5 faktory F1-F4:
 - předúprava, kalové hospodářství, nežádoucí produkty dezinfekce a účinnost dezinfekce
- pro TP6 faktory F1-F7:
 - vlastní spotřeba vody, plynulost provozu úpravní, využitelnost výkonu úpravní vzhledem k jejím návrhovým hodnotám, automatizace provozu, přerušení provozu, nedostatečný výkon a úniky chemikálií [6]

Jednotlivé ukazatele mají svoji váhu, ze které je automaticky vypočteno celkové hodnocení modulu. Větší váhu je dána technologicko-provozním ukazatelům, protože ukazují, zda se využívá vhodných technologií, zda úpravna vody vyhovuje kapacitně apod.

Ovládání aplikace TEA Water je jednoduché, ale vyžadují přesné hodnoty a ty jsem si bohužel musel často domýšlet.

Celkové hodnocení pro objekt úpravna vody Čebín bylo D+ (66-70 %). Kategorie D značí kritické hodnoty příslušného ukazatele a mělo by dojít k realizaci opatření, které by vyřešilo tyto problémy.

Typy objektů

- Vodní zdroje (TEAR)
- Úpravní vody (TEAT)
- Vodojemy (TEAA)
- Čerpací stanice (TEAP)
- Rozvodné sítě (TEAN)
- Vodovodní řady (TEAS)
- Úsek přiváděcího řadu (TEAM-U)

Kategorie ukazatelů

- ST: Stavebně-technická část (TEAT)
- TP: Technologicko-provozní část (TEAP)

Seznam Ukazatelů

ID	Kód	Název	Objekt	Váha
3772	ST1	Stav stavební konstrukce	UV	0,300
3773	ST2	Stav technologických prvků	UV	0,400
3774	ST3	Ochrana objektu proti vnějším vlivům	UV	0,300
Součet vah:				1,000

Export
Doplnit

Obr. 37 – TEA Water-příklad velikosti vah [6]

5 ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce byl návrh rekonstrukce úpravny vody. Vybral jsem si úpravnu vody Čebín, se kterou jsem pracoval již v bakalářské práci. Úpravna vody Čebín leží mezi obcemi Čebín, Chudčice a Moravské Knínice. Z technologického hlediska je úpravna vody na hranici své životnosti. Účelem rekonstrukce bylo zlepšení kvality podzemní vody a množství pitné vody. Podle vyhlášky č. 252/2004 Sb., upravovaná voda obsahuje nadlimitní množství železa, manganu a amonných solí. Současné koncentrace železa 0,85 mg/l (limit 0,20 mg/l), koncentrace manganu 0,12 mg/l (limit 0,05 mg/l) a koncentrace amonných solí 0,73 mg/l (limit 0,50 mg/l) nesplňují vyhlášku pro surovou vodu kategorie A2. Na úpravně nejsou žádné filtry, voda je upravována metodou IN SITU. Znamená to, že čerpaná voda z vrtu je na úpravně vody provzdušňována a část je vracena zpět. Systém čerpání a vracení vody se pravidelně střídá. Upravovaná voda byla dezinfikována chlornanem sodným a čerpána na vodojemy.

Podzemní voda je čerpána 35 m hlubokým hydrogeologickým vrtem, navrhl jsem čerpadlo Calpeda 4 SD. Voda je přiváděna polyethylenovým potrubím o DN 90 mm do budovy úpravny vody. Maximální povolený odběr je 5,5 l/s. Prvním navrženým zařízením je injektor Mazzei 4091, který provzdušňuje vodu. Díky provzdušnění dochází k oxidaci manganu a především železa. Procesem úpravy je dávkování chlornanu sodného pomocí dávkovacího čerpadla ProMinent Gala 1601, sloužící k oxidaci železa. Náhradní dávkování je pomocí manganistanu draselného, který je ale dražší než chlornan sodný. Za nadávkováním chemie jsem navrhl statický mísič Statiflo, který promíchává (homogenizuje) kapalinu. Kvůli zvýšenému obsahu železa a manganu jsem navrhl jeden separační stupeň s dvojicí tlakových filtrů. Každý filtr TVK má minimální průtok 3,42 l/s a maximální výkon 8,55 l/s. Filtry jsou napojeny na polyethylenové potrubí DN 90 mm. K odstranění amonných solí slouží manganistan draselný, který se dávkuje k regeneraci tlakových filtrů. Praní filtrů probíhá vodou a vzduchem odděleně u navržených filtrů. Po skončení regenerace se filtr přivede do tzv. provozního režimu. Kvůli typu znečištění (železo a mangan) jsem zvolil filtrační materiál MTM o výšce 700 mm. Jako podložní (spodní) vrstvu jsem vybral nejlevnější filtrační materiál – křemičitý písek Dorsilit. K praní tlakových filtrů slouží čerpadlo Grundfos CR, které je osazeno za akumulární nádrží. Z dvojice tlakových filtrů natéká voda prací a voda při zafiltrování do akumulace prací jímky o objemu 60 m³. Tato akumulární jímka je opatřena čerpadlem (Wilo CronoNorm-NL). Čerpadlo čerpá vodu, vracející se přes indukční průtokoměr (Flonet FN20) zpět před tlakové filtry. V akumulární jímce prací vody je navrženo čerpadlo Wilo, které čerpá prací vodu do vedlejší kalové jímky o objemu 10 m³. Fekální vůz vyváží kal z kalové jímky, který jezdí na ČOV Čebín. Z tlakových filtrů potrubím o profilu 90 mm natéká přefiltrovaná voda do akumulární jímky o objemu 250 m³. Z kalové i akumulární jímky jsou instalovány bezpečnostní přepady, kterými přepadá odsazená voda do recipientu Kuřimka. Dále jsem navrhl pístový kompresor Cosmos a vyrovnávací tlakovou

nádobu CIMM. Z akumulární nádrže proudí voda přes dvojici čerpadel Wilo CronoNorm-NL a přes dvojici tlakových ventilů Hawido 1501, které redukuje tlak. Následuje společné potrubí, které je z polyethylenu DN150, kde dochází k poslednímu hygienickému zabezpečení vody pomocí dávek chlornanu sodného. Za nadávkováním chemie je osazen indukční průtokoměr ELIS FLONET FN20. Upravená voda pokračuje na dvojici vodojemů VDJ1 a VDJ2 o objemech 650 m³, respektive 150 m³. Vodojemy jsou mezi sebou propojeny a v obou vodojemech je hladina na stejné úrovni. Tyto vodojemy zásobují skupinový vodovod Tišnov a doplňují soustav vodojemů, které distribuují vodu do okolních vesnic a města Tišnova, ve kterém žijí. Celkem je zásobováno přibližně 13300 obyvatel.

Dále jsem v diplomové práci popisoval a hodnotil původní stav úpravny vody. K hodnocení technického stavu jsem využil webovou aplikaci TEA Water. Hodnotil jsem 6 modulů, které obsahovaly 7 objektů (jímací objekt, přiváděcí řad, vodovodní řad, úpravnu vody, dvojici vodojemů a rozvodnou síť). Po popsání všech stavů aplikace TEA Water patří úpravna vody Čebín do skupiny D+. Což znamená, že ve většině případů se jedná o kritické hodnoty a měla by být realizována brzká opatření.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Úpravna vody Čebín: Úprava vody v podzemí-projektová dokumentace, Vodárenská akciová společnost a.s.
- [2] *MAPY.CZ* [online]. [cit. 2017-09-04]. Dostupné z: <https://mapy.cz>
- [3] *Mapy Google* [online]. [cit. 2017-09-04]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps>
- [4] TUHOVČÁK, Ladislav, Tomáš SUCHÁČEK a Tomáš KUČERA. Metodika hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury. *SOVAK*. 2016
- [5] TUHOVČÁK, Ladislav, Tomáš SUCHÁČEK a Tomáš KUČERA. Hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury. In: *Voda Zlín 2016*. 2016.
- [6] TEA Water: Hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury. *TEA Water* [online]. [cit. 2017-10-08]. Dostupné z: <http://www.teawater.cz/>
- [7] SVAK Tišnovsko. *Svazek vodovodů a kanalizací Tišnovsko* [online]. [cit. 2017-10-29]. Dostupné z: <http://www.svazvak-tisnov.cz/>
- [8] VAS. *Vodárenská akciová společnost* [online]. [cit. 2017-10-29]. Dostupné z: <http://www.vodarenska.cz/>
- [9] PRVK JMK. *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Jihomoravského kraje* [online]. [cit. 2017-10-29]. Dostupné z: https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/PRVK_JMK/
- [10] BVK. *Brněnské vodárny a kanalizace* [online]. [cit. 2017-10-29]. Dostupné z: <http://www.bvk.cz/>
- [11] PRVK ČR. *PLÁN ROZVOJE VODOVODŮ A KANALIZACÍ ÚZEMÍ ČR: JIHOMORAVSKÝ KRAJ* [online]. [cit. 2017-10-29]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/40163/_22881_13039_CZ062_Jihomoravsky_kraj.pdf
- [12] SKŘÍČEK, Jan. Filtrační cyklus a regenerace vodárenských filtrů. Brno, 2016. 60 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
- [13] PIVOKONSKÝ. Úprava podzemní a povrchových vod: Jednostupňová a dvoustupňová separace [online]. [cit. 2017-12-02]. ÚŽP Přf UK.
- [14] BIELA, Renata a Josef BERÁNEK. *Úprava vody a balneotechnika*. Akademické nakladatelství CERM, 164. ISBN 80-214-2563-6.
- [15] *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2017-12-03]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/>
- [16] KUČERA, Tomáš. *Jímání a úprava vody: Projekt VHO* [online]. VUT, fakulta stavební [cit. 2017-12-05].
- [17] STRNADOVÁ, Nina, JANDA, Václav. *Technologie vody I*. 2. přepracované vydání. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. 226 s. ISBN 80-7080-348-7.
- [18] TUHOVČÁK, Ladislav et al. *Vodárenství – Úprava a doprava vody*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, 2006, 252 s
- [19] SOMMERFELD, Elmer O. *Iron and manganese removal handbook*. Denver, Colo.: American Water Works, c1999, xii, 158 s. ISBN 1-58321-012-1.

- [20] EX-KA, spol. s r.o.: Úprava vody - iontoměniče. *Http://www.ex-ka.cz/* [online]. [cit. 2017-12-06].
- [21] *Membránové procesy: ASIO - čištění a úprava vod* [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/membranove-procesy>
- [22] *Stanovení obsahu sloučenin dusíku ve vodách: Hydrobiologie* [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: http://hydrobiologie.upol.cz/uploads/files/03_metody_stanoveni_obsahu_%20dusiku.pdf
- [23] *AQUATERM, s. r. o. Šlapanice: Úprava vody a tepelná energetika* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.aqua-bohemia.com/>
- [24] Statické mísiče: Průmyslové čerpání a dávkování kapalin. *FLowsERVICE s.r.o.* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <https://www.flowservice.cz/>
- [25] Statické mísiče Statiflo: Zařízení pro úpravu a dezinfekci vody. *DISA s.r.o.* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <https://www.disa.cz/>
- [26] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [27] HENDRICKS, David W. *Water treatment unit processes: physical and chemical*. Boca Raton, FL, 2005. ISBN 978-082-4706-951.
- [28] Injektory: Technologie úpravy vody. *W&ET Team: Water & Environmental Technology Team* [online]. [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: <http://www.wet-team.cz/nabidka/injektory-firmy-mazzei/>
- [29] *VODASERVIS s.r.o.: Úprava pitných, technologických a bazénových vod* [online]. [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: <http://www.vodaservis.cz/>
- [30] *Automatické regulační ventily: Katalog Hawido* [online], 120 [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: http://www.hawle.cz/Files/documents/prospekt/katalog_Hawido.pdf
- [31] Tlaková nádoba: CIMM AFE CE 1000 l. *OBCHODCERPADEL.CZ* [online]. [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: <https://www.obchodcerpadel.cz/detail-produktu/tlakova-nadoba-cimm-afe-ce-1000-l-stojata-10bar/#qtab=t3>
- [32] Kompresory: Technika stlačeného vzduchu. *TECHNO-AIR s.r.o* [online]. [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: <http://www.technoair.cz/serie-cosmos-gm-300>
- [33] *Chlornan sodný: GHC Invest, s.r.o.* [online]. [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: <http://www.ghcinvest.cz/cz/uprava-procesni-a-pitne-vody/c2634>
- [34] Ponorné čerpadlo: Čerpadlo do vrtu Calpeda. *SOSelektromotory: Servis Obchod Služby* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.sos-shop.cz/sos/eshop/14-1-CERPADLA/28-2-cerpadla-DO-VRTU-A-STUDNI/5/3200-ponorne-cerpadlo-do-vrtu-Calpeda-4-SD-15-30-7-5-kW-400V>
- [35] Dávkovací čerpadlo ProMinent: ProMinent GALA 1601 NPB 900. *ProMinent* [online]. [cit. 2018-01-01]. Dostupné z: http://prominentxtranet.com/files/catalog_sections/gamma_l_catalog_section.pdf
- [36] V. Janda, L. Benešová, V. Vágner, S. Mutl, F. Hereit: Způsob odstraňování železa a manganu z vody. A.O. 258570.

- [37] Chemikálie: Manganistan draselný. *AQUACON* [online]. [cit. 2018-01-01]. Dostupné z: <http://www.aquacon.cz/prislusenstvi/chemikalie/manganistan-draselny-kmno4-25kg.html>
- [38] Indukční průtokoměry: FLONET FN20XX.1. *ELIS PLZEŇ a.s.: výrobce průtokoměrů kapalin* [online]. [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <http://www.elis.cz/cs/produkty/indukcni-prutokomer-kapalin/indukcni-prutokomery-flonet-fn20xx1.html>
- [39] Čerpadlo odsazené prací vody Wilo: Wilo CronoNorm-NL 80/160. *WILO CS, s.r.o.: Čerpadla* [online]. [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: https://wilo.com/cz/cs/V%C3%BDrobky-a-pou%C5%BEit%C3%AD/Hled%C3%A1n%C3%AD-konstruk%C4%8Dn%C3%AD-%C5%99ady/CronoNorm-NL-80-160-1.1-4_5609.html
- [40] SKŘÍČEK, Jan a Michaela ŠPLÍČALOVÁ. *Recipient Kuřimka: Kuřim*.
- [41] Čerpadlo na tlakové filtry: Grundfos CR45-1-1. *Grundfos pumps: Water Treatment Solutions* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://www.lenntech.com/grundfos/CRFAM/96122796/CR-45-1-1-A-F-A-E-HQQE.html>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Jakost podzemní vody [1]	18
Tab. 2 – Produkce pitné vody [1,7]	21
Tab. 3 – Přehled napojených obcí na vodovod Tišnov [7]	21
Tab. 4 – Specifická spotřeba oxidačních činidel v mg [16]	27
Tab. 5 – Membránové procesy-rozdělení [21]	28
Tab. 6 – Ukazatelé jakosti surové vody a jejich mezní hodnoty [15]	33
Tab. 7 – Koeficienty přestupu plynu do kapaliny-Hendricks [27]	35
Tab. 8 – Filtrační materiály [23]	42
Tab. 9 – TEA Water modul TEAR [6]	55
Tab. 10 – TEA Water modul TEAM [6]	55
Tab. 11 – TEA Water modul TEAS [6]	56
Tab. 12 – TEA Water modul TEAA [6]	56
Tab. 13 – TEA Water modul TEAN [6]	57
Tab. 14 – TEA Water modul TEAT [6]	57

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Úpravna vody Čebín-z venku [12]	11
Obr. 2 – Úpravna vody Čebín-technologický cyklus [1]	12
Obr. 3 – Úpravna vody Čebín-vstup do akumulární nádrže [12]	13
Obr. 4 – Úpravna vody Čebín-staré technologické schéma [1]	13
Obr. 5 – Úpravna vody Čebín-tlaková nádrž [12].....	15
Obr. 6 – Úpravna vody Čebín-čerpadla, žebřík do akumulární nádrže [12]	15
Obr. 7 – Úpravna vody Čebín-ejektor [12]	16
Obr. 8 – Situace úpravny vody Čebín-Podhájí [2]	20
Obr. 9 – Situace (detail) úpravny vody Čebín-Podhájí [3]	20
Obr. 10 – Provozní středisko–SVAK Tišnovsko [8].....	22
Obr. 11 – Přehledný klad listů [9]	23
Obr. 12 – Přehledná mapa vodovodů a kanalizací–Tišnovsko [11]	24
Obr. 13 – Rozdělení membránových procesů podle stupně separace [21]	29
Obr. 14 – Schéma forem dusíku [22]	30
Obr. 15 – Dvoustupňová separace–příklad [13].....	31
Obr. 16 – Ponorné čerpadlo do vrtu Calpeda [34]	34
Obr. 17 – Injektor Mazzei 4091 [28].....	36
Obr. 18 – Manganistan draselný [37].....	37
Obr. 19 – Chlornan sodný [33].....	37
Obr. 20 – Dávkovací čerpadlo ProMinent [35].....	38
Obr. 21 – Statický mísič–Statiflo [25]	39
Obr. 22 – Tlakový nerezový filtr TVK [29].....	40
Obr. 23 – Filtry TVK–rozměry a výkony [29].....	41
Obr. 24 – Čerpadlo pro filtry-Grundfos [41].....	42
Obr. 25 – Filtrační materiál – MTM [23].....	43
Obr. 26 – Filtrační materiál – Dorsilit [12]	44
Obr. 27 – Indukční průtokoměr FLONET [38].....	46
Obr. 28 – Čerpadlo odsazené prací vody Wilo [39].....	46
Obr. 29 – Recipient Kuřimka [40]	47
Obr. 30 – Tlakový ventil Hawido 1501 [30].....	48
Obr. 31 – Kompresor COSMOS [32].....	49
Obr. 32 – Tlaková nádoba CIMM [31]	50
Obr. 33 – Moduly aplikace TEA Water [6]	51

Obr. 34 – Struktura hodnocení TEA Water [4]	53
Obr. 35 – Kategorie hodnocení TEA Water [4]	53
Obr. 36 – Internetová stránka TEA Water [6]	54
Obr. 37 – TEA Water-příklad velikosti vah [6]	59

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AT stanice...	automatická tlaková stanice
Cl ₂ ...	chemické označení pro chlór
ClO ₂ ...	chemické označení pro oxid chloričitý
CO ₂ ...	chemické označení pro oxid uhličitý
ČOV...	čistírna odpadních vod
ČR...	Česká republika
Fe...	chemický prvek pro železo
H ₂ O ₂ ...	chemické označení pro peroxid vodíku
H ₂ S...	chemické označení pro sulfan
HV...	hydrogeologický vrt
KMnO ₄ ...	chemické označení pro manganistan draselný
Mn...	chemický prvek pro mangan
MnO ₂ ...	chemické označení pro oxid manganičitý
MZdr...	Ministerstvo zdravotnictví
NaClO...	chemické označení pro chlornan sodný
NH ₄ ⁺ ...	chemické označení pro amonný kation
NN...	nízké napětí
NO ₃ ⁻ ...	chemické označení pro dusičnanový anion
O ₂ ...	chemické označení pro kyslík
P...	chemický prvek pro fosfor
pH...	potenciál vodíku, k určení kyselosti nebo zásaditosti
PRVK JMK...	Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Jihomoravského kraje
Q ₁₀₀ ...	n-letý průtok [l/s, m ³ /h]
Q _{max} ...	maximální průtok [l/s, m ³ /h]
Q _{prům} ...	průměrný průtok [l/s, m ³ /h]
SVAK...	Svazek vodovodů a kanalizací
TEA Water...	Technical Audit of Water distribution systems
TEAA...	označení modulu pro vodojemy
TEAM...	označení modulu pro příváděcí řady
TEAN...	označení modulu pro vodovodní síť
TEAP...	označení modulu pro čerpací stanice
TEAR...	označení modulu pro vodní zdroje

TEAS...	označení modulu pro vodovodní řady
TEAT...	označení modulu pro úpravny vody
ÚVHO...	Ústav vodního hospodářství obcí
VN...	vysoké napětí
η_c ...	koeficient výtěžnosti
ZTI...	zdravotně technické instalace

SEZNAM PŘÍLOH

1. Technologické schéma
2. Půdorys úpravny vody M 1:50
3. Řez A-A' M 1:50

SUMMARY

The main aim of the master thesis was the design of the reconstruction of the water treatment plant. I chose the Čebín water treatment plant, which I described in the bachelor thesis. Čebín water treatment plant is located between Čebín, Chudčice and Moravská Knínice. From a technological point of view, the water treatment plant is at the limit of its life. The purpose of the reconstruction was to improve the quality of groundwater and the quantity of drinking water. According to the Decree No. 252/2004 Coll., the water contains an excessive amount of iron, manganese and ammonium salts. Concurrent iron concentrations of 0,85 mg/l (limit 0,20 mg/l), manganese concentration 0,12 mg/l (limit 0,05 mg/l) and ammonium salt concentration 0,73 mg/l (limit 0,50 mg/l) do not comply with the A2 class A2 crude. There are no filters at the water treatment plant, the water is treated with the IN SITU method. This means that the pumped water from the borehole is aerated at the water treatment plant and the part is returned back. The system of pumping and returning water regularly changes. The treated water was disinfected with sodium hypochlorite and pumped to reservoirs.

Underground water is pumped by 35 m deep hydrogeological drill, I designed the Calpeda 4 SD pump. The water is supplied with polyethylene pipe DN 90 mm into the water treatment plant. The maximum allowable take-off rate is 5,5 l/s. The first designed device is the Mazzei 4091 injector, which aerates the water. Aeration results in oxidation of manganese and especially iron. The treatment process is dosing of sodium hypochlorite using a ProMinent Gala 1601 dosing pump, which serves to oxidize iron. The replacement dosage is using potassium permanganate, which is more expensive than sodium hypochlorite. I have designed a Statiflo static mixer that mixes (homogenizes) the liquid with the chemistry dosing. Due to the increased iron and manganese content I designed one separation stage with a pair of pressure filters. Each TVK filter has a minimum flow rate of 3,42 l/s and a maximum power of 8,55 l/s. The filters are connected to polyethylene pipes DN 90 mm. Ammonium salts are used to remove potassium salts, which is used to regenerate pressure filters. The filters are washed by water and air separately with the filters designed. After regeneration is complete, the filter is brought into so-called operating mode. Due to the type of contamination (iron and manganese), I chose a 700 mm high filter MTM material. As the underlying layer I chose the cheapest filter material - silica sand Dorsilit. The Grundfos CR pump, which is fitted behind the accumulation tank, is used to wash the pressure filters. From a pair of pressure filters, the water flows through the washing and water when it is filtered into the accumulation of the 60 m³ sink. This storage tank is equipped with a pump (Wilo CronoNorm-NL). The pump draws water back through the induction flowmeter (Flonet FN20) back to the pressure filters. A Wilo pump is designed for the wastewater storage tank to pump the wash water into a 10 m³ secondary sludge sump. The fertilizer carries out the sludge from the sludge reservoir, which runs to Čebín. From the pressure filters through a 90 mm pipe, the filtered water flows into a storage tank of 250 m³. Sewage escapes are installed from the sludge and accumulation wells, whereby the offset water overflows into the Kuřimka. I designed a Cosmos piston compressor and a CIMM equalizing pressure vessel. From the storage tank, water flows through a pair of Wilo CronoNorm-NL pumps and a pair of Hawido 1501 pressure reducing valves that reduce pressure. This is followed by a common pipeline made of polyethylene DN150, where the last hygienic water supply is made using sodium hypochlorite doses. The ELIS FLONET FN20 induction flowmeter is equipped with chemistry dosing. The treated water continues on a pair of VDJ1 and VDJ2 reservoirs with volumes of 650 m³ and 150 m³. The water reservoirs are interconnected and the water level is equal in both reservoirs. These reservoirs supply the Tišnov group water supply and complement the water reservoir system, which distributes

water to the surrounding villages and the town of Tišnov, where I live. In total, approximately 13300 inhabitants are supplied.

In the master thesis I described and evaluated the original condition of the water treatment plant. To evaluate the technical condition, I used the TEA Water web application. I evaluated 6 modules that included 7 objects (collecting facility, supply lines, water lines, water treatment plant, water reservoirs and grid). After describing all the conditions of the TEA Water application, the Čebín water treatment plant is ranked to the D + group. Which means that in most cases these are critical values and early action should be implemented.